

ICS 93. 160
P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 645—2013

水利水电工程围堰设计规范

**Design code for cofferdam
of water resources and hydropower engineering**

2013—09—17 发布

2013—12—17 实施



中华人民共和国水利部 发布

—

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告
(水利水电工程围堰设计规范)

2013 年第 49 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程围堰设计规范》
(SL 645—2013)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程 围堰设计规范	SL 645—2013		2013. 9. 17	2013. 12. 17

水利部
2013 年 9 月 17 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，编制本标准。

本标准共 9 章和 1 个附录，主要技术内容有：

- 围堰设计标准；
- 围堰型式；
- 围堰布置；
- 围堰结构设计；
- 堰基处理设计；
- 围堰安全监测；
- 围堰拆除设计。

本标准的强制性条文有：3.0.1 条、3.0.2 条、3.0.4 条、3.0.5 条、3.0.9 条、6.2.3 条、6.5.1 条 2 款、6.5.2 条 4 款。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：长江勘测规划设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：周良景 鄢双红 叶三元 徐唐锦

李勤军 李 蓓 陈超敏 倪锦初

熊 焰 余胜祥 饶志文 刘永红

张拥军 石 裕 马永锋 詹金环

万启宣 杜泽金

本标准审查会议技术负责人：马毓淦

本标准体例格式审查人：牟广丞

目 次

1 总则	1
2 基本资料	2
3 围堰设计标准	4
4 围堰型式	7
4.1 一般规定	7
4.2 土石围堰	7
4.3 混凝土围堰	7
4.4 其他型式围堰	8
5 围堰布置	9
5.1 一般规定	9
5.2 横向围堰布置	9
5.3 纵向围堰布置	9
5.4 其他围堰布置	10
6 围堰结构设计	11
6.1 一般规定	11
6.2 堰体结构	11
6.3 过水围堰水力计算	13
6.4 渗流及渗透稳定计算	13
6.5 稳定计算	14
6.6 应力及变形计算	15
7 堰基处理设计	16
7.1 一般规定	16
7.2 防渗设计	16
7.3 其他处理	17
8 围堰安全监测	18
9 围堰拆除设计	19

附录 A 重力式混凝土围堰稳定及应力计算	20
标准用词说明	26
条文说明	27

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程围堰设计，保证设计质量，在《水利水电工程施工组织设计规范》(SL 303)基础上，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大、中型水利水电工程的围堰设计，小型水利水电工程的围堰设计可参照执行。

1.0.3 围堰设计应遵循安全可靠、经济合理、结构简单、施工方便、就地取材、易于拆除、利于环保的原则。应结合国情推广应用新技术、新材料、新工艺和新设备。

1.0.4 与永久建筑物结合的围堰，结合部分应同时满足永久建筑物设计要求。

1.0.5 本标准的引用标准主要有以下标准：

《土工合成材料应用技术规范》(GB 50290)

《砌石坝设计规范》(SL 25)

《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174)

《小型水利水电工程碾压式土石坝设计导则》(SL 189)

《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252)

《碾压式土石坝设计规范》(SL 274)

《混凝土拱坝设计规范》(SL 282)

《水利水电工程施工组织设计规范》(SL 303)

《碾压混凝土坝设计规范》(SL 314)

《混凝土重力坝设计规范》(SL 319)

《水工建筑物荷载设计规范》(DL 5077)

《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》(DL/T 5200)

1.0.6 水利水电工程围堰设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 基本资料

2.0.1 围堰设计应调查、收集下列水文、气象资料：

- 1 实测坝址河段汛期及枯水期流量、水位和水面比降资料。
- 2 各种频率全年和枯水期时段及分月最大流量计算值和典型洪水过程线、各种频率逐月月平均及枯水时段各月旬平均流量计算值。
- 3 坝址水位流量关系曲线、水库库容曲线；泄水建筑物进、出口水位流量关系曲线。
- 4 根据工程施工条件，考虑上、下游梯级水库影响后的有关水文资料。
- 5 天然河床糙率及河道泥沙资料。
- 6 坝址周边相关溪沟水文资料。
- 7 坝址降雨、冰情、气温、水温、风速、风向及雾日等气象资料。

2.0.2 围堰设计应收集下列地形、地质资料：

- 1 实测坝址及围堰范围地形图、地质图。
- 2 坝址及围堰范围河床及两岸覆盖层的分布、层次、厚度、物质组成及其颗粒级配，覆盖层中软土层、粉细砂、湿陷性黄土、架空层、漂孤石层、相对隔水层等分布情况，覆盖层各层次的物理力学性质参数、渗透特性和抗冲刷能力等。
- 3 坝址及围堰范围河床及两岸岩体的岩层产状及地应力状况，断层、节理、软弱夹层的分布和特征，风化带、卸荷带的厚度及其特性，岩体工程地质分类及完整性评价，各类岩体的物理力学指标、抗冲刷能力和建议的开挖坡度，可利用建基岩体及岸坡的稳定性评价，坝址及围堰范围两岸不良地质条件及水文地质条件等。
- 4 天然建筑材料的料场分布、储量、质量及开采、运输条

件等资料。

2.0.3 围堰设计还应收集下列其他相关资料：

- 1 永久建筑物相关设计资料。
- 2 施工期防洪、通航、供水、生态保护、灌溉、排冰等要求。
- 3 导截流模型试验、堰体材料试验等资料。
- 4 施工期水库临时淹没相关资料。
- 5 坝址上、下游水利水电工程运行情况及要求。

3 围堰设计标准

3.0.1 围堰级别应根据其保护对象、失事后果、使用年限和围堰工程规模划分为3级、4级、5级，具体按表3.0.1确定。

表 3.0.1 围堰级别划分表

级别	保护对象	失事后果	使用 年限 (年)	围堰工程规模	
				围堰高度 (m)	库容 (亿 m ³)
3	有特殊要求的1级永久性水工建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟工程总工期及第一台(批)机组发电,造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1级、2级永久性水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业或影响工程总工期和第一台(批)机组发电,造成较大经济损失	1.5~3	15~50	0.1~1.0
5	3级、4级永久性水工建筑物	淹没基坑,但对总工期及第一台(批)机组发电影响不大,经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

注1: 表列四项指标均按导流分期划分, 保护对象一栏中所列永久性水工建筑物级别系按SL 252划分。

注2: 有、无特殊要求的永久性水工建筑物均系针对施工期而言, 有特殊要求的1级永久性水工建筑物系指施工期不应过水的土石坝及其他有特殊要求的永久性水工建筑物。

注3: 使用年限系指围堰每一导流分期的工作年限, 两个或两个以上导流分期共用的围堰, 如分期导流一期、二期共用的纵向围堰, 其使用年限不能叠加计算。

注4: 围堰工程规模一栏中, 围堰高度指挡水围堰最大高度, 库容指堰前设计水位所拦蓄的水量, 两者应同时满足。

3.0.2 当围堰工程根据表3.0.1指标分属不同级别时, 应以其

中最高级别为准。但列为 3 级建筑物时，至少应有两项指标符合要求。

3.0.3 下列情况下的围堰级别可适当调整：

1 施工期利用围堰挡水发电时，根据围堰挡水位下相应库容及其失事后果，围堰级别可适当提高。

2 当 4 级、5 级围堰地基地质条件复杂、或失事后果较严重、或有特殊要求而采用新型结构时，其结构设计级别可提高一级，但设计洪水标准不提高。

3 当按表 3.0.1 和上述规定所确定的级别不合理时，可根据工程具体条件和施工导流阶段的不同要求，经过论证，予以提高或降低。

3.0.4 当围堰与永久建筑物结合时，结合部分的结构设计应采用永久建筑物级别标准。

3.0.5 过水围堰应按表 3.0.1 确定建筑物级别，表中各项指标应以挡水期工况作为衡量依据。

3.0.6 保护导流建筑物施工的围堰（包括预留岩坎），其建筑物级别可为 5 级。

3.0.7 预留岩坎（塞）作为临时挡水建筑物时，其级别应按表 3.0.1 确定，表中围堰工程规模一栏的围堰高度应取岩坎（塞）承受的最大水头，库容应取岩坎（塞）底部高程以上对应的水库库容。

3.0.8 在已建堤防上破口新建穿堤建筑物时，穿堤建筑物宜在枯水期内完成。需跨汛期运用的围堰，不应降低所在堤防的防洪标准。

3.0.9 围堰工程设计洪水标准应根据建筑物的类型和级别在表 3.0.9 规定幅度内选择。对围堰级别为 3 级且失事后果严重的工程，应提出发生超标准洪水时的工程应急措施。

3.0.10 在下列情况下，围堰工程洪水标准可采用表 3.0.9 中的上限值：

1 河流水文实测资料系列小于 20 年或工程处于暴雨中心区。

表 3.0.9 围堰工程洪水标准 单位：重现期（年）

围堰类型	围堰工程级别		
	3	4	5
土石结构	50~20	20~10	10~5
混凝土、浆砌石结构	20~10	10~5	5~3

2 采用新型围堰结构型式。

3 处于关键施工阶段，失事后可能导致严重后果。

4 导流工程规模、投资和技术难度在采用上限值与下限值时相差不大。

5 在围堰级别划分中指标接近本级别上限。

3.0.11 当枢纽所在河段上游建有水库时，围堰采用的设计洪水流量应考虑上游梯级水库的调蓄及调度的影响；若利用上游梯级水库的调蓄及调度作用降低设计洪水流量时，应经过技术经济比较后确定。

3.0.12 围堰修筑期间，各月的修筑最低高程应以安全拦挡下月围堰设计洪水重现期最大设计流量为准，经过论证也可适当降低。土石围堰基础防渗施工平台的设计洪水标准可适当降低。

3.0.13 过水围堰的挡水标准应结合水文特点、施工工期、挡水时段、围堰结构型式，经技术经济比较后，在 3~20 年重现期范围内选定。当水文系列不小于 30 年时，也可根据实测流量资料分析选用。

3.0.14 过水围堰过水时的洪水标准应根据过水围堰的级别和表 3.0.9 选定。当水文系列不小于 30 年时，也可按实测典型年资料分析选用。并应通过水力计算或水工模型试验，采用围堰过水时最不利流量作为设计依据。

3.0.15 导流泄水建筑物封堵工程进出口设置围堰时，围堰挡水标准应根据工程重要性、失事后果等因素，在该时段 5~20 年重现期范围内选定。

4 围堰型式

4.1 一般规定

4.1.1 围堰型式应根据施工导流方案、地形地质条件、建筑材料来源、施工进度要求及施工资源配置等在土石围堰、混凝土围堰及其他型式围堰中选择。

4.1.2 围堰型式应通过比较选定。当地材料丰富时，宜优先选用土石围堰。

4.2 土石围堰

4.2.1 土石围堰按填筑材料可分为均质土围堰和土石混合围堰；按堰体防渗体可分为斜墙围堰、心墙围堰等。堰体及防渗体型式应根据其布置条件、地形地质条件、工期和造价等因素综合比选确定。

4.2.2 土石围堰堰体防渗材料应根据料源情况、堰基防渗型式、施工条件及环保要求等综合比选确定。

1 土工膜具有造价低、施工方便、利于环保等优点，在挡水水头不超过 35m 时宜优先选用。

2 当地土料储量丰富，满足防渗要求，且开采条件较好时，可用做围堰防渗体材料。

3 可选用混凝土防渗墙、高喷防渗墙、沥青混凝土防渗墙、钢板桩心墙、混凝土心墙等防渗型式。

4.2.3 土石过水围堰的型式应根据围堰过水时的水力条件、堰基覆盖层厚度、围堰施工工期要求等条件综合分析确定。

4.3 混凝土围堰

4.3.1 混凝土围堰宜修建在岩基上，适用于基础覆盖层薄的河床。选用混凝土围堰时，应综合分析导流建筑物的布置、导流工

程投资、围堰施工工期等方面的影响。

4.3.2 碾压混凝土围堰利于快速施工，宜优先采用。

4.3.3 混凝土围堰宜采用重力式结构，河谷狭窄且地形地质条件适宜时可采用拱型结构。

4.4 其他型式围堰

4.4.1 在地质条件好、能充分利用天然料和开挖石渣时可采用胶凝砂砾石围堰、堆石混凝土围堰。

4.4.2 装配式钢板桩格型围堰断面尺寸小，抗冲能力强，适用于岩石地基或混凝土基座上建造，其最大挡水水头不宜大于30m。打入式钢板桩围堰适用于细砂砾石层等地基，其最大挡水水头不宜大于20m。

4.4.3 在当地料源丰富的地区，可使用草土、竹笼等围堰，围堰高度不宜高于15m，使用年限宜为1~2年。

4.4.4 根据工程具体情况可选用浆砌石围堰、钢围圈围堰，以及起围堰作用的预留岩坎（塞）等特殊型式。

4.4.5 过水围堰上部子堰可采用土石子堰、袋装黏土子堰等型式。

5 围堰布置

5.1 一般规定

5.1.1 围堰布置应符合下列要求：

- 1 满足围护建筑物布置及施工要求。
- 2 满足堰体与岸坡或其他建筑物的连接要求。
- 3 围堰背水侧坡脚与围护建筑物基础开挖边坡开口线的距离，应满足堰基和基础开挖边坡的稳定要求。
- 4 满足水力条件及防冲要求。
- 5 宜利用有利地形、地质条件，减少围堰及堰基处理工程量。
- 6 宜避开两岸溪沟水流汇入基坑，避免溪沟水流对围堰造成危害性冲刷；无法避开时，应采取相应措施。

5.1.2 在条件许可时，围堰宜与永久建筑物结合。

5.2 横向围堰布置

5.2.1 围堰迎水面坡脚距导流泄水建筑物进、出口的距离，应满足围堰坡脚防冲要求。

5.2.2 围堰轴线应根据地形、地质条件、水力条件、围护建筑物型式、围堰工程量及施工条件等因素综合确定，宜直线或折线布置，不宜反拱布置。

5.2.3 过水围堰布置应满足过水堰体、岸坡及基坑防护要求，其过水部分堰体轴线宜与河道水流流向垂直布置。

5.3 纵向围堰布置

5.3.1 纵向围堰位置应在分析地形地质条件、枢纽布置、束窄河道通航条件等因素后确定，围护纵向围堰施工的一期围堰布置宜分析束窄河道通航条件、水力条件，其河床束窄程度可控制在

30%~60%之间。

5.3.2 纵向围堰宜与永久建筑物结合布置，并按分期导流流量结合枢纽布置、地形地质条件、水力条件、施工期通航条件、排冰、排沙、河床防冲等要求，经综合比较后确定。

5.3.3 纵向围堰布置应满足各期泄水建筑物水流条件，其长度应满足横向围堰布置及防冲要求。

5.4 其他围堰布置

5.4.1 导流泄水建筑物和引水发电系统的进、出口围堰，通航建筑物及鱼道等的上、下游围堰，宜优先利用预留岩坎（塞）布置围堰。

5.4.2 岸边式厂房围堰宜顺河向布置，河床束窄程度应考虑河床和岸坡的防冲要求。

5.4.3 在永久建筑物改扩建中，受工程条件限制，可布置叠梁、闸门、浮箱或其他型式围堰。

6 围堰结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 围堰结构设计应依据不同堰型分别参照 SL 189、SL 274、SL 314、SL 319、SL 282 和 SL 25 相关规定。

6.1.2 围堰结构设计荷载组合宜只考虑正常情况，荷载计算可参照 DL 5077 有关规定。

6.1.3 围堰结构应满足稳定、防渗和抗冲要求。

6.2 堰体结构

6.2.1 围堰断面设计应根据水文气象、地形地质条件、筑堰材料、施工条件等因素综合确定。过水围堰在各级流量时的流态和水力要素可采用水工模型试验验证。

6.2.2 堰顶宽度应满足施工和防汛抢险要求，土石围堰宜为 4~12m，混凝土和浆砌石围堰宜为 3~7m。

6.2.3 不过水围堰堰顶高程和堰顶安全加高值应符合下列要求：

1 堰顶高程应不低于设计洪水的静水位与波浪高度及堰顶安全加高值之和，其堰顶安全加高应不低于表 6.2.3 规定值。

2 土石围堰防渗体顶部在设计洪水静水位以上的加高值：斜墙式防渗体为 0.6~0.8m；心墙式防渗体为 0.3~0.6m。3 级土石围堰的防渗体顶部宜预留完工后的沉降超高。

3 考虑涌浪或折冲水流影响，当下游有支流顶托时，应组合各种流量顶托情况，校核围堰顶高程。

4 可能形成冰塞、冰坝的河流应考虑其造成的壅水高度。

6.2.4 过水围堰堰顶高程应按静水位加波浪高度确定，不必另加堰顶安全加高值。

6.2.5 防渗墙施工平台的高程应高于施工时段设计水位 2m 以上。

表 6.2.3 不过水围堰堰顶安全加高下限值 单位：m

围堰型式	围堰级别	
	3	4、5
土石围堰	0.7	0.5
混凝土围堰、浆砌石围堰	0.4	0.3

6.2.6 土石围堰的堰体结构应符合下列要求：

1 3级土石围堰碾压部位堰体压实指标可参照 SL 274 的有关规定取值，4级和5级土石围堰可适当降低。

2 围堰堰体采用土料防渗时，堰体防渗土料与堰壳之间应设置反滤层，必要时设置过渡层。反滤料宜优先选用天然级配砂砾料一次铺成。

3 围堰堰体采用复合土工膜防渗时，防渗结构宜包括复合土工膜两侧垫层。复合土工膜的设置应符合 GB 50290 的有关规定。

4 围堰堰体采用混凝土防渗墙和高压喷射灌浆等防渗型式时，防渗体应符合 SL 174 和 DL/T 5200 的有关规定。

5 堰体防渗体与堰基及岸坡应形成封闭防渗体系。

6.2.7 混凝土围堰的堰体结构应符合下列要求：

1 横缝间距应根据地形地质条件、堰体布置、堰体断面尺寸、温度应力和施工条件等因素确定。横缝间距宜为 15~25m，碾压混凝土围堰横缝间距可放宽。

2 重力式围堰和拱型围堰的混凝土强度、抗渗、抗冻等性能指标的选择，堰体廊道、止水及排水的设置，可分别参照 SL 319 和 SL 282 的有关规定。

6.2.8 土石围堰迎水面应进行坡面和坡脚防冲保护设计，并符合下列要求：

1 保护材料应根据材料获得条件、水力条件、施工难度及经济等因素比较选定。

2 堰基为深厚粉细砂层时，应对围堰的防冲保护进行专门

研究。

6.2.9 土石围堰防渗体与混凝土建筑物或两岸岸坡基岩的连接,可采用扩大防渗体断面、插入式或其他型式。

6.2.10 过水围堰可采取下列防护措施:

- 1 过水前可向基坑充水形成水垫。
- 2 土石过水围堰溢流面型式和防冲材料宜进行方案比较,溢流面可根据水力条件、施工条件等因素采用钢筋石笼、大块石(串)、合金网石兜或混凝土板等保护,并设置反滤垫层。
- 3 可在堰脚岩基上设重力式镇墩,也可在堰脚覆盖层上设置柔性防护结构。
- 4 两岸接头处可采取防止岸坡冲刷的工程措施。
- 5 混凝土过水围堰宜采用台阶式溢流面。

6.2.11 过水围堰堰顶横河向宜做成两岸高、中间低的断面型式,并对两岸接头处采取防护措施,保证过水水流位于主河道,以减少水流对两岸接头及堰后岸坡的冲刷破坏。

6.2.12 土石围堰填筑材料应符合下列要求:

- 1 均质土围堰填筑材料渗透系数不宜大于 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 。
- 2 土石围堰防渗体土料渗透系数不宜大于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。
- 3 心墙或斜墙土石围堰堰壳填筑料渗透系数宜大于 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$,可采用天然砂卵石或石渣。
- 4 围堰堆石体水下部分宜采用软化系数值大于 0.7 的石料。

6.3 过水围堰水力计算

6.3.1 过水围堰应在设计洪水标准范围内进行各级流量下的水力计算,找出堰体溢流最不利工况。

6.3.2 4级及以上的过水围堰宜通过水工模型试验验证。

6.4 渗流及渗透稳定计算

6.4.1 土石围堰渗流计算应符合下列主要要求:

- 1 确定浸润线位置、渗透比降、渗流量等。

2 计算工况考虑设计洪水位与基坑内无水，以及水位骤降工况。

3 渗流计算按照 SL 274 相关规定进行。

6.4.2 3 级土石围堰渗流计算宜同时采用有限元法。

6.4.3 3 级或有特殊要求的围堰防渗体及堰基的渗透破坏类型及允许渗透比降应论证后取用。

6.5 稳定计算

6.5.1 土石围堰稳定计算应符合下列要求：

1 堰坡及覆盖层地基的抗滑稳定，宜按单一安全系数刚体极限平衡法计算。

2 抗滑稳定采用瑞典圆弧法或简化毕肖普法时，土石围堰的边坡稳定安全系数应满足表 6.5.1 的规定。

3 对土工膜斜墙围堰，还应进行沿土工膜和堰体接触带的抗滑稳定分析。

表 6.5.1 土石围堰边坡稳定安全系数表

堰坝级别	计算方法	
	瑞典圆弧法	简化毕肖普法
3	≥ 1.20	≥ 1.30
4、5	≥ 1.05	≥ 1.15

6.5.2 混凝土围堰稳定计算应符合下列要求：

1 混凝土重力式围堰可按附录 A 采用抗剪断强度公式或抗剪强度公式计算。

2 混凝土拱形围堰的拱座稳定分析应按 SL 282 规定进行。

3 当围堰基础内存在软弱夹层、缓倾角结构面及不利的滑动面时，应核算其深层抗滑稳定。

4 混凝土重力式围堰采用抗剪断公式计算时，安全系数 $K' \geq 3.0$ ，排水失效时安全系数 $K' \geq 2.5$ ；按抗剪强度公式计算时安全系数 $K \geq 1.05$ 。

5 混凝土拱围堰稳定安全系数应按 SL 282 有关规定选取。

6.5.3 其他型式围堰的稳定分析，可参照相关设计标准并结合类似工程实践经验进行分析计算。

6.5.4 过水围堰运用期，应分别对不同运行水位和不同工作状态进行堰体及堰基稳定性计算。

6.6 应力及变形计算

6.6.1 3 级围堰的应力和应变除按常规方法计算外，宜采用有限元法分析。

6.6.2 土石围堰沉降变形应按 SL 274 中的公式进行计算。

6.6.3 混凝土重力式围堰建基面和堰体垂直正应力可按附录 A 进行计算，运行期迎水面允许有 0.15MPa 以下的主拉应力，堰体允许有 0.2MPa 以下的主拉应力。

6.6.4 混凝土拱形围堰应力计算可参照 SL 282 规定。

7 堰基处理设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 堰基处理应满足强度、渗流、沉降变形等控制要求。
- 7.1.2 堰基的防渗处理方案应综合考虑安全可靠、经济合理、施工简便等因素。
- 7.1.3 堰基处理设计可参照 SL 274、SL 319、SL 314 的规定执行。

7.2 防渗设计

- 7.2.1 根据覆盖层厚度、组成情况和围堰设计挡水水头，可比较选用塑性混凝土防渗墙、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆、水泥土搅拌防渗墙、自凝灰浆墙、水泥或黏土水泥灌浆、板桩灌注墙、钢板桩等防渗型式。
- 7.2.2 混凝土防渗墙适用于各种地层。对于淤泥、粉细砂等地层，应论证其对混凝土防渗墙施工安全及运行安全的影响。
- 7.2.3 水泥土搅拌防渗墙适用于淤泥和淤泥质土、粉土、黄土、素填土、黏性土、砂土等土层。
- 7.2.4 高压喷射灌浆设计应符合下列要求：
- 1 适用于淤泥质土、粉质黏土地层以及粉土、砂土、砾石、卵（碎）石等松散透水地层。
 - 2 对含有较多漂石或块石的地层，应通过高压喷射灌浆试验确定其适用性和设计、施工参数。
 - 3 高压喷射灌浆板墙的结构型式可参照 DL/T 5200，依据工程性质、重要程度、地质条件、挡水水头等通过技术经济比较进行选择。
- 7.2.5 帷幕灌浆设计应遵循下列原则：
- 1 堰基为岩石时，可采用帷幕灌浆进行防渗处理。

2 砂砾石地基中的帷幕灌浆，应根据挡水水头、地质条件进行可灌性、安全性论证，其可灌性宜通过试验确定。

3 帷幕灌浆设计可参照 SL 274 执行。

7.2.6 覆盖层较浅，具备水下开挖施工条件时，宜开挖截水槽，修建截水墙进行堰基防渗。截水墙尺寸应满足防渗料及其与基础接触面的允许渗透比降要求。

7.2.7 在满足渗流量和渗透稳定的条件下，位于深厚覆盖层上的低水头围堰，可采用铺盖或悬挂式防渗型式。

7.2.8 同时具备下列条件时可采用土料铺盖防渗：

- 1 土石围堰挡水水头较低，堰基无强透水层。
- 2 附近有适宜填筑铺盖的土料，渗透系数小于 1×10^{-4} cm/s。
- 3 堰基覆盖层渗透系数与土料渗透系数的比值大于 50。

7.3 其他处理

7.3.1 在峡谷地区修建土石围堰，与土质防渗体连接的岸坡开挖宜平顺，岸坡不应有垂直台阶、反坡，岩石岸坡坡度不宜陡于 1:0.5，土质岸坡坡度不宜陡于 1:1.5。

7.3.2 对建于砂土地基、软土地基上的土石围堰，可采取振冲、强夯、置换、排水固结、反滤围压等加固处理措施。

7.3.3 混凝土围堰宜建在基岩上。对于围堰基础中存在的断层破碎带、软弱结构面及局部工程地质缺陷，应分析其对堰体整体稳定和渗流的影响，可采用置换、固结灌浆、帷幕灌浆、基础排水、预应力锚索及抗滑桩等处理措施。

8 围堰安全监测

- 8.0.1 围堰安全监测可采用巡视检查和仪器设备观测。
- 8.0.2 围堰安全监测设计应针对工程特点设置监测项目，监测断面和部位选择应有代表性。
- 8.0.3 围堰安全监测宜设置下列外部监测项目：
- 1 堰体垂直位移和水平位移。
 - 2 围堰渗流量。
- 8.0.4 对于3级围堰及重要的4级围堰，可设置下列内部安全监测项目：
- 1 监测土石围堰堰体浸润线，防渗墙应力、应变等。
 - 2 监测混凝土围堰堰体及堰基应力、应变，渗透水压力等。
- 8.0.5 与永久建筑物结合的围堰，其安全监测应满足永久运行期和施工期安全监测要求。

9 围堰拆除设计

9.0.1 根据围堰型式、拆除范围及拆除工程量，应进行围堰拆除设计，并遵循下列原则：

1 满足永久建筑物正常运行，以及泄流、供水、通航、发电等要求。

2 满足后续导、截流要求。

3 宜安排在枯水期拆除。

9.0.2 爆破拆除围堰、预留岩坎（塞）时，应满足附近建筑物和有关设施的安全要求。

9.0.3 围堰拆除应符合环境保护及水土保持要求。

9.0.4 土石围堰宜先拆除上部及背水侧堰体，可利用迎水侧部分堰体断面挡水，减少水下拆除工程量。

附录 A 重力式混凝土围堰稳定 及应力计算

A.1 堰基面抗滑稳定计算

A.1.1 重力式混凝土围堰抗滑稳定计算主要核算堰基面滑动条件，应按抗剪断强度公式 (A.1.1-1) 或抗剪强度公式 (A.1.1-2) 计算堰基面的抗滑稳定安全系数。

1 抗剪断强度的计算公式：

$$K' = \frac{f' \sum W + c' A}{\sum P} \quad (\text{A.1.1-1})$$

式中 K' ——按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数；
 f' ——堰体混凝土与堰基接触面的抗剪断摩擦系数；
 c' ——堰体混凝土与堰基接触面的抗剪断凝聚力，kPa；
 A ——堰基接触面截面积， m^2 ；
 $\sum W$ ——作用于堰体上全部荷载（包括扬压力）对滑动平面的法向分力，kN；
 $\sum P$ ——作用于堰体上全部荷载对滑动平面的切向分力，kN。

2 抗剪强度公式 (A.1.1-2) 计算：

$$K = \frac{f \sum W}{\sum P} \quad (\text{A.1.1-2})$$

式中 K ——按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数；
 f ——堰体混凝土与堰基接触面的抗剪摩擦系数。

A.1.2 堰基混凝土与堰基接触面之间的抗剪断摩擦系数 f' 、凝聚力 c' 和抗剪摩擦系数 f 的取值，在无试验参数时，可参考表 A.1.2-1、表 A.1.2-2 选用。

表 A. 1. 2 - 1 堰基岩体力学参数

岩体分类	混凝土与堰基接触面			岩体		变形模量 E_0 (GPa)
	f'	c' (MPa)	f	f'	c' (MPa)	
I	1.50~ 1.30	1.50~ 1.30	0.85~ 0.75	1.60~ 1.40	2.50~ 2.00	40.0~ 20.0
II	1.30~ 1.10	1.30~ 1.10	0.75~ 0.65	1.40~ 1.20	2.00~ 1.50	20.0~ 10.0
III	1.10~ 0.90	1.10~ 0.70	0.65~ 0.55	1.20~ 0.80	1.50~ 0.70	10.0~ 5.0
IV	0.90~ 0.70	0.70~ 0.30	0.55~ 0.40	0.80~ 0.55	0.70~ 0.30	5.0~ 2.0
V	0.70~ 0.40	0.30~ 0.05	—	0.55~ 0.40	0.30~ 0.05	2.0~ 0.2

注 1: f' 、 c' 为抗剪断参数; f 为抗剪参数。
注 2: 表中参数限于硬质岩, 软质岩根据软化系数进行折减。

表 A. 1. 2 - 2 结构面、软弱层和断层力学参数

类型	f'	c' (MPa)	f
胶结的结构面	0.80~0.60	0.250~0.100	0.70~0.55
无充填的结构面	0.70~0.45	0.150~0.050	0.65~0.40
岩块岩屑型	0.55~0.45	0.250~0.100	0.50~0.40
岩屑夹泥型	0.45~0.35	0.100~0.050	0.40~0.30
泥夹岩屑型	0.35~0.25	0.050~0.020	0.30~0.23
泥	0.25~0.18	0.005~0.002	0.23~0.18

注 1: f' 、 c' 为抗剪断参数; f 为抗剪参数。
注 2: 表中参数限于硬质岩中的结构面。
注 3: 软质岩中的结构面进行折减。
注 4: 胶结或无充填的结构面抗剪断强度, 根据结构面的粗糙程度选取大值或小值。

A. 2 堰基深层抗滑稳定计算

A. 2. 1 堰基深层存在缓倾角结构面时, 根据地质资料可概化为单滑动面、双滑动面和多滑动面, 进行抗滑稳定分析。

双滑动面为最常见情况, 见图 A. 2. 1。

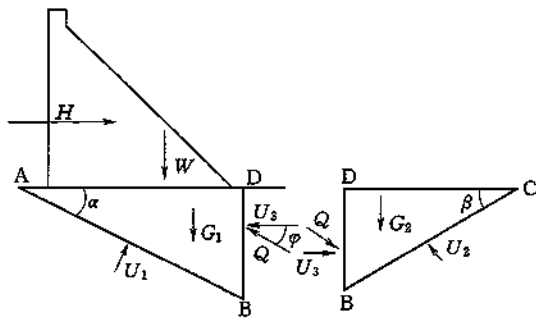


图 A. 2. 1 双滑动面示意图

深层抗滑稳定计算采用等安全系数法, 应按抗剪断强度公式或按抗剪强度公式进行计算。

A. 2. 2 采用抗剪断强度公式, 应按下列公式计算。

考虑 ABD 块的稳定, 则有:

$$K'_1 = \frac{f'_1[(W + G_1)\cos\alpha - H\sin\alpha - Q\sin(\varphi - \alpha) - U_1 + U_3\sin\alpha] + c'_1A_1}{(W + G_1)\sin\alpha + H\cos\alpha - U_3\cos\alpha - Q\cos(\varphi - \alpha)} \quad (\text{A. 2. 2-1})$$

考虑 BCD 块的稳定, 则有:

$$K'_2 = \frac{f'_2[G_2\cos\beta + Q\sin(\varphi + \beta) - U_2 + U_3\sin\beta] + c'_2A_2}{Q\cos(\varphi + \beta) - G_2\sin\beta + U_3\cos\beta} \quad (\text{A. 2. 2-2})$$

$$K' = K'_1 = K'_2 \quad (\text{A. 2. 2-3})$$

式中 K'_1 、 K'_2 ——按抗剪断强度计算的抗滑稳定安全系数;

W ——作用于堰体上全部荷载 (不包括扬压力) 的垂直分力, kN;

- H ——作用于堰体上全部荷载的水平分力，kN；
 G_1 、 G_2 ——岩体 ABD、BCD 重量的垂直作用力，kN；
 f'_1 、 f'_2 ——AB、BC 滑动面的抗剪断摩擦系数；
 c'_1 、 c'_2 ——AB、BC 滑动面的抗剪断凝聚力，kPa；
 A_1 、 A_2 ——AB、BC 面的面积， m^2 ；
 α 、 β ——AB、BC 面与水平面的夹角；
 U_1 、 U_2 、 U_3 ——AB、BC、BD 面上的扬压力，kN；
 Q ——BD 面上的作用力，kN；
 φ ——BD 面上的作用力 Q 与水平面的夹角。夹角 φ 值需经论证后选用，从偏于安全考虑 φ 可取 0° 。

通过公式 (A. 2. 2-1)、公式 (A. 2. 2-2) 及公式 (A. 2. 2-3)，求解 Q 、 K' 值。

A. 2. 3 采用抗剪强度公式，应按下列公式计算。对于采取工程措施后应用抗剪断强度公式计算仍无法满足，可采用抗剪强度公式 (A. 2. 3-1)、公式 (A. 2. 3-2) 计算抗滑稳定安全系数，其安全系数指标可经论证确定。

考虑 ABD 块的稳定，则有：

$$K_1 = \frac{f_1[(W + G_1)\cos\alpha - H\sin\alpha - Q\sin(\varphi - \alpha) - U_1 + U_3\sin\alpha]}{(W + G_1)\sin\alpha + H\cos\alpha - U_3\cos\alpha - Q\cos(\varphi - \alpha)} \quad (\text{A. 2. 3-1})$$

考虑 BCD 块的稳定，则有：

$$K_2 = \frac{f_2[G_2\cos\beta + Q\sin(\varphi + \beta) - U_2 + U_3\sin\beta]}{Q\cos(\varphi + \beta) - G_2\sin\beta + U_3\cos\beta} \quad (\text{A. 2. 3-2})$$

$$K = K_1 = K_2 \quad (\text{A. 2. 3-3})$$

式中 K_1 、 K_2 ——按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数；

f_1 、 f_2 ——AB、BC 滑动面的抗剪摩擦系数；

通过公式 (A. 2. 3-1)、公式 (A. 2. 3-2) 及公式 (A. 2. 3-3)，求解 Q 、 K 值。

多滑面的情况比较复杂，可参照双滑面的计算式，列出各个滑动体的算式，求解 K 值。

A.3 堰面应力计算

A.3.1 上游堰面垂直正应力应按公式 (A.3.1) 计算 (见图 A.3.1):

$$\sigma_y^u = \frac{\sum W}{T} + \frac{6 \sum M}{T^2} \quad (\text{A.3.1})$$

式中 T ——堰体计算截面上、下游方向的宽度，m；

$\sum W$ ——计算截面上全部垂直力之和 (包括扬压力)，以向下为正，计算时切取单位长度堰体，kN；

$\sum M$ ——计算截面上全部垂直力及水平力对于计算截面形心的力矩之和，以使上游面产生压应力者为正，kN·m。

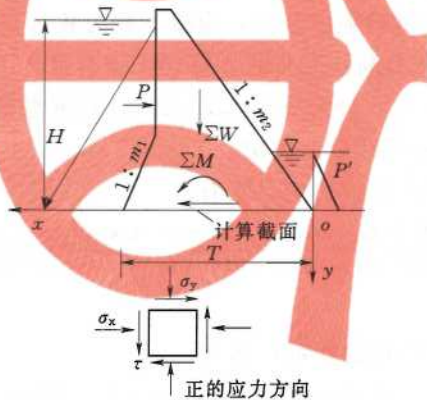


图 A.3.1 重力式围堰堰面应力计算示意图

A.3.2 下游堰面垂直正应力应按公式 (A.3.2) 计算 (见图 A.3.1):

$$\sigma_y^d = \frac{\sum W}{T} - \frac{6 \sum M}{T^2} \quad (\text{A.3.2})$$

A.3.3 上游面主应力应按公式 (A.3.3-1)、公式 (A.3.3-

2) 计算:

$$\sigma_1^u = (1 + m_1^2)\sigma_y^u - m_1^2(P - P_u^u) \quad (\text{A. 3.3-1})$$

$$\sigma_2^u = P - P_u^u \quad (\text{A. 3.3-2})$$

式中 m_1 ——上游堰坡;

P ——计算截面在上游堰面所承受的水压力强度 (如有泥沙压力时, 应计入在内), kPa;

P_u^u ——计算截面在上游堰面处的扬压力强度, kPa。

A. 3.4 下游面主应力应按公式 (A. 3.4-1)、公式 (A. 3.4-2) 计算:

$$\sigma_1^d = (1 + m_2^2)\sigma_y^d - m_2^2(P' - P_u^d) \quad (\text{A. 3.4-1})$$

$$\sigma_2^d = P' - P_u^d \quad (\text{A. 3.4-2})$$

式中 m_2 ——下游堰坡;

P' ——计算截面在下游堰面所承受的水压力强度 (如有泥沙压力时, 应计入在内), kPa;

P_u^d ——计算截面在下游堰面处的扬压力强度, kPa。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程围堰设计规范

SL 645—2013

条文说明

目 次

1 总则.....	29
2 基本资料.....	31
3 围堰设计标准.....	34
4 围堰型式.....	40
5 围堰布置.....	58
6 围堰结构设计.....	63
7 堰基处理设计.....	75
8 围堰安全监测.....	82
9 围堰拆除设计.....	84
附录 A 重力式混凝土围堰稳定及应力计算.....	86

1 总 则

1.0.1 编制本标准的目的是为了适应市场经济条件下水利水电工程围堰设计的需要，统一设计标准和技术要求。本标准是在规范《水利水电工程施工组织设计规范》(SL 303—2004)的基础上编制的。

1.0.2 本标准没有限制其设计阶段，水利水电工程各设计阶段的围堰设计本标准均适用。

1.0.3 围堰设计在确保施工及安全运行的条件下，尽量考虑利用当地材料，以求经济合理；同时要考虑尽量利用经济环保材料(如土工膜防渗可减少土料开采对当地环境的破坏)，以求资源节约、环境友好；围堰设计方案不仅要考虑施工方便，而且还要考虑后期拆除方便。大中型水利水电工程围堰设计要对围堰型式、平面布置、围堰断面结构及基础处理等进行多种方案研究，并通过技术经济综合分析比较确定。为推动科技进步，提高工程效益，需要结合国情推广应用新技术、新材料、新工艺和新设备。

1.0.4 与永久建筑物相结合的围堰，不仅承担施工导流期挡水任务，且在工程运行后成为永久建筑物的一部分，结合部分还需满足永久运行期的要求。如纵向围堰的坝体段及导流墙等部位，结构设计应按永久建筑物标准设计，但要注意，因围堰受力条件与永久建筑物不同，结合部位的断面尺寸可能会由施工期控制；如上游围堰与土石坝的坝体结合，坝基一般要求开挖清理，而堰基一般无开挖清理要求，此时上游围堰与坝体结合部分应满足坝体稳定要求。心墙堆石坝的上游围堰一般与堆石坝坝体结合布置，堰型通常采用土石围堰，如大渡河瀑布沟、澜沧江糯扎渡等水电站的上游土石围堰，均作为堆石坝的一部分。分期导流的纵向围堰一般尽量利用永久泄水建筑物的导墙，如三峡工程二期下游纵向混凝土围堰高 56.5m，与溢流坝段导墙相结合；汉江喜河

水电站拦河坝为碾压混凝土重力坝，施工导流采用分期导流方式，二期纵向围堰与永久冲沙闸的导墙结合，采用与坝体相同的碾压混凝土堰型。

2 基本资料

2.0.1 围堰设计所需的坝址（“坝址”包含坝址、厂址、闸址及堤线等）水文、气象资料可利用枢纽主体建筑物设计需要的资料。水文计算频率计算值包括 0.5%、1%、2%、3.33%、5%、10%、20%、33.3% 频率的全年和各施工时段及分月瞬时最大流量、全年和选定施工时段的典型洪水过程线；逐月（旬）平均流量 5%、10%、20%、75%、80%、85% 频率计算值。

降雨资料包括历年、分月、多年日平均降雨量；历年最大暴雨强度，小时和日最大暴雨强度，最大一次暴雨发生时间及历时长短；历年雨日统计资料；多年日平均降水量、最大日降水量。

对于河道比降较大的坝址，需分别提出上、下游围堰及导流泄水建筑物进、出口处的水位流量关系曲线。

对于枢纽工程所在河段上游建有水库时，导流建筑物采用的设计洪水流量要根据工程施工实际条件，考虑上游梯级水库的调蓄和调度影响。如黄河上游拉西瓦水电站紧接具有多年调节能力的龙羊峡水电站，拉西瓦施工导流流量充分利用龙羊峡水库的巨大调蓄作用，将龙羊峡的汛限水位由高程 2594.0m 降为 2588.0m，20 年一遇导流标准相应流量为 $2000\text{m}^3/\text{s}$ ，比同频率天然状态下洪水下降了约 40%，大大降低了导流工程量。又如乌江构皮滩水电站初期导流期间，利用上游乌江渡等水电站在 6 月、7 月预留 5.5 亿 m^3 库容，汛期进行调蓄，调蓄后可将构皮滩坝址处全年 10 年一遇洪水 $13500\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 $10930\text{m}^3/\text{s}$ ，降低了构皮滩水电站导流隧洞和上、下游围堰规模。

2.0.2 围堰设计所需坝址地形图（覆盖围堰范围）比例尺根据地形开阔程度及设计阶段而定，使用较多的有 1:500、1:1000 和 1:2000。

围堰设计所需地质图主要包括：围堰范围的地质平面图、纵

横剖面图、基岩等高线图及不同风化层的基岩等高线图。

坝址附近各类建筑材料，包括防渗土料、块石料及砂砾石料等的分布、储量、物理力学指标及开采运输条件等资料。

2.0.3

1 围堰等级确定需要枢纽工程规模和等级、主要建筑物的结构型式等资料。围堰平面布置方案研究需要枢纽总布置图、永久建筑物结构型式和施工程序等资料。对于分期导流方式，纵向围堰位置直接影响枢纽布置方案和施工程序。

2 对于有排冰的河道，尚需查明排冰情况，以便于设计研究排冰措施。在有航运要求的河道修建围堰必须尽量减小围堰对航运的影响，并采取措施避免或缩短断航时间。

3 导流隧洞及明渠泄流可能造成对下游围堰的冲刷，对大、中型导流围堰工程，必要时需通过水工模型试验研究下游围堰坡脚处的流速、流态，供设计研究围堰防冲保护方案。分期导流方案，利用束窄河床泄流或已建的永久泄水建筑物泄流，对纵向围堰及下游横向围堰坡脚可能造成冲刷，必要时通过水工模型试验验证。

围堰采用新结构、新材料、新工艺时进行必要的科学试验。

4 在上游围堰形成之前必须完成设计水位以下库区移民搬迁。如果初期移民搬迁费用较高，实施难度较大，则需研究降低堰顶高程和设计水位。对于库区内存在滑坡体处理的工程，需要在上游围堰形成前完成滑坡体处理或者至少处理到围堰设计水位时可保证稳定的程度，如处理工程量较大，甚至需要降低水位。因此，上游围堰的堰顶高程和设计水位要考虑初期淹没的影响。如黄河上游李家峡水电站，上游库区分布有一座大型滑坡体和一待搬迁的村庄，在滑坡体处理期，要求上游围堰造成的壅高水位不超过 2085.00m，而移民村的最低分布高程为 2082.00m。因此，李家峡上游围堰的设计挡水位按 2080m 控制。此外，对于工程上游附近有较大城镇时，围堰可能对上游城镇的防洪带来不利影响。如陕西省汉中市汉江水闸工程，二期上游围堰形成后，

10年一遇的洪水位超过了原河道100年一遇的天然防洪水位。为满足城市安全度汛，二期上游围堰按汛前拆除，汛后恢复设计。此外，汉江蜀河水电站和旬阳水电站上游围堰的设计水位也受库区城镇防洪水位制约。

5 坝址下游附近的城镇、工矿企业及交通干线等分布情况及社会经济条件主要是为溃堰计算提供依据，以分析围堰失事后果和导流风险。如澜沧江小湾水电站上游围堰溃堰分析对下游的60km以内的永久大桥、漫湾水电站及相应村镇的淹没损失进行了测算；澜沧江景洪水电站下游5km为景洪市，且下游流经多个国家，二期上游围堰堰高65m，溃堰对下游影响较大，因此，开展了溃堰数学模型计算和物理模型试验验证。



3 围堰设计标准

3.0.1、3.0.2 本标准划分围堰标准的特点主要有：围堰划级不划等，并将围堰划分为3级；在划分级别时，各施工导流阶段的围堰级别应视其服务对象的重要性不同而有所区别，并严格控制最高级别出现。围堰属短期使用的临时性工程，为节约投资，在拟定划级所依据的指标时，将绝大部分围堰划分为4级或5级，对划分为3级围堰的指标控制严格。

对条文表3.0.1中四项指标说明如下：

(1) 保护对象是永久建筑物，其级别作为划分围堰级别的依据之一，各级永久建筑物相应的围堰级别一般划分为4~5级；只有同时满足条文表3.0.1中3级围堰一栏两项以上指标，其围堰级别才研究提高到3级的可能性。

(2) 失事后果一栏很难用定量指标体现。美国土木工程学会的大坝分级标准，将失事后果按人口死亡和灾害划分为3级。英国土木工程学会按人口死亡和财产损失划分为4级。俄罗斯等一些国家提出施工期按成本分类划分等级。本标准将围堰失事后带来的经济损失按其程度划为重大、较大和较小3级。

(3) 使用年限指各施工导流阶段围堰的运用年限，围堰挡水期越长，遭遇洪水破坏的可能性越大，承担的风险也就越大。目前，国内外大型水电工程主体工程施工期（从基坑开挖到发电）大约为5~7年，一般工程大约3年左右。因此，将3级围堰使用时间限定在3年以上，4级围堰的使用时间限定为1.5~3年，5级围堰的使用时间限定在1.5年以内。

围堰的最危险工况一般出现在汛期，围堰经过一个完整的汛期定为一个使用年。

(4) 围堰工程的规模用高度和堰前库容来衡量，本标准规定工程规模的上限为围堰高度大于50m、库容大于1亿 m^3 ，两项

指标应同时满足。在使用时，实质上是由较低指标控制。平原地区的河流上往往是堰高控制，高山峡谷地区的河流则多由库容大小控制。

对于覆盖层上修建围堰的情况，基坑开挖后覆盖层的厚度不计入堰高，围堰规模堰高采用覆盖层建基面以上堰体最大填筑高度。但要根据围堰堰脚至基坑边缘的距离，分析复核基坑覆盖层开挖边坡对围堰边坡稳定性的影响，研究处理措施。

(5) 同一围堰的不同部位因作用不同应有差别，如混凝土纵向围堰的上段、中段和下段，若中段与坝体结合，上段、下段则需分别拟定不同的级别。

3.0.3 本条规定调整围堰结构设计级别应具备的条件。

3 在特殊情况下不宜限制过死。仅从下列两种特殊情况阐明：

(1) 长距离引水式电站。例如，四川宝兴水电站为长距离引水式电站，引水枢纽至电站厂房相距 18km，其间河道无重要城镇，其拦河坝枢纽工程施工工期 2 年，但厂房及引水洞工程施工工期 3 年，故坝体施工不占直线工期，其围堰堰高不到 10m。按原标准表 3.0.1 划分，除使用年限大于 1.5 年以外，其他指标均为 5 级建筑物，但“以最高级别为准”则围堰标准应为 4 级建筑物，洪水重现期 10~20 年。然而实际选择 5 级建筑物，洪水重现期为 5 年，其导流量和导流工程规模比前者可减少一半，而且若遇超标洪水时，除需重建围堰、清理基坑、延长 3 个月工期外不会影响第一台机发电，也无其他不利影响，尚可节约大量投资。类似的工程还有西藏沃卡水电站等。

(2) 抽水蓄能电站。抽水蓄能电站水库往往利用山区堰口围建而成，无天然径流，洪水由暴雨汇集而成，坝体和进出口施工期如修建围堰，其级别则不宜限制过死。

3.0.4 本条主要阐明围堰与永久建筑物结合时，结合部分的结构设计标准应按永久建筑物采用，但其与其他临时导流建筑物组合成一个整体共同担负导流任务时，其导流设计洪水标准不因其

系永久建筑物而提高，仍可按表 3.0.9 规定执行。

3.0.5 采用过水围堰允许基坑淹没的导流方式在国内外得到广泛运用，让河流最大洪峰流量通过围堰或施工中的坝体，事实证明是既经济又可行的。

过水围堰的特点是既挡水又泄水，过水围堰的级别，我国以往习惯的设计方法是对应永久建筑物的等级即可确定围堰级别，此标准主要用于堰体稳定和结构计算。本条规定按表 3.0.1 确定过水围堰级别，一般情况下因挡水期围堰较低，库容较小，所定级别不会高于 4 级，这是符合我国实际设计施工情况的。

3.0.6 保护导流建筑物施工的围堰（包括预留岩坎）使用时间较短，可以选用较低的级别。

3.0.7 安徽响洪甸水库等大中型水库加固工程中，新建的泄洪洞等均采用预留岩坎挡水，将库水位降到一定高程后在岩坎保护下施工，预留岩坎采用爆破拆除，费用较低且能满足安全标准。

3.0.8 由于堤防工程一般保护对象较重要，在已建堤防上破口新建穿堤建筑物时，一般不允许跨汛期施工。确需跨汛期施工时，围堰设计洪水标准要与所在堤防防洪标准一致，且需经主管部门批准。

3.0.9 围堰设计洪水标准做以下几方面说明：

(1) 围堰类型的影响：混凝土结构抵御洪水的能力远比土石结构强，因而土石围堰的设计洪水标准较同级混凝土围堰要高。1988 年 8 月，广西岩滩水电站二期碾压混凝土围堰经受了 $19100\text{m}^3/\text{s}$ 的超标准洪水考验。福建水口水电站三期碾压混凝土围堰也在 1992 年 7 月经受了 50 年一遇的大洪水考验。由于两个工程的洪水预报比较及时，基坑过水后损失甚微。相反，龙羊峡水电站的土石围堰在 1981 年遇到 100 年一遇的特大洪水时，堰顶溢洪道下游出现了较大的险情。

(2) 同一导流阶段采用相同的设计洪水标准以统一各导流建筑物的设计高程，按主要挡水建筑物统一确定设计洪水标准是通常采用的方法。只有当上、下游围堰的规模相差悬殊，承受的安

全风险相差很大时，上、下游围堰才取不同的设计洪水标准，如三峡、二滩、水口等工程的上游围堰设计洪水标准均高于下游围堰。

(3) 从经济和安全因素考虑，围堰的设计洪水标准要考虑运行时间因素。两个同等规模的围堰工程，使用时间分别是1年和2年时，对应的设计洪水标准有差别。

(4) 围堰设计洪水标准是确定围堰规模的依据，其选择原则是：在主体工程施工期，要有一定的安全性，同时又要经济合理。

3.0.10 本条主要基于降低施工导流风险考虑。

3.0.11 位于梯级开发河流上的工程，当上游有大型水库控制时，坝址处的水文特点有：

(1) 年流量分配趋于均匀，枯水期的来流量较天然状态增加，但汛期的来流量较天然减少。

(2) 受上游水库的调蓄影响，同频率下的天然设计洪水流量得到大幅度的削减，度汛压力得到减轻。

(3) 通过和下游区间洪水的错峰调度，驾驭洪水的能力有了提高。

1986年10月，龙羊峡水库蓄水后，黄河上游的拉西瓦、尼那、李家峡、康扬和公伯峡等目前已建成或在建的水电站，其20年一遇的施工洪水流量较天然状态下降了约40%。贵州的构皮滩水电站在施工期通过上游的乌江渡水库预留防洪库容，较天然降低洪峰流量 $610\text{m}^3/\text{s}$ 。

本条在使用过程中，某种频率下的水库下泄流量是否要与区间同频率的洪水叠加，要分析：

(1) 两个位置是否处于同一暴雨中心。

(2) 区间发生暴雨时，上游水库能否错峰调度等。

3.0.12 围堰的基础防渗墙施工大都安排在枯水期完成（一般不超过6个月），持续时间较短。混凝土围堰一般都在基坑抽水完成后开始浇筑，持续时间更短。不少工程的实践经验证明，在枯

水季围堰施工期，上游的来水设计标准适当降低（如围堰的设计标准为 20 年一遇洪水，防渗墙施工期的设计标准可取 10 年一遇），可以减少部分防渗工程量，缩短施工工期，有利围堰的度汛安全。

3.0.13、3.0.14 在我国的水利水电工程施工中，也常根据工程的水文特性和具体情况，采用枯水流量作为设计洪水流量。该类导流标准的围堰型式又可分为两种情况：

(1) 采用枯水期流量挡水的挡水围堰。系指工程规模小，坝基开挖、处理及坝体下部混凝土，在一个枯水期抢筑到常水位以上，在汛前坝体可达到替代围堰的挡水高程或达到拦洪度汛高程，例如吉林小山、松山等工程。此方法节省工期、降低设计难度、施工程序简单，工程能够顺利进行。

(2) 采用枯水期流量挡水的过水围堰。系指工程规模较大，工程所在河流洪枯流量、水位变幅很大，采用全年洪水标准导流工程规模太大，费用太高，在工期上、技术上都难以实现的工程，采用低导流标准挡水的过水围堰，即只拦挡枯水期一定标准流量，超过标准允许淹没基坑的过水围堰，待坝体达到一定高程时再用坝体挡洪度汛，以降低导流建筑物规模、削减导流工程量，获得较好的经济效益。如湖北隔河岩、广西岩滩、江西万安、湖南五强溪、贵州普定等工程都获得成功。

过水围堰的特点是枯水期挡水，汛期泄水。根据我国近 50 年来的水电建设经验，土石过水围堰的高度一般不超过 35m，混凝土过水围堰的高度一般不超过 50m，过水围堰的级别一般为 4 级或 5 级。但过水围堰的挡水标准不宜太低，以避免基坑频繁过水，保证大坝等永久建筑物有足够长的有效工期，对高坝或工程量较大的工程更要尽可能争取有较长的工期。若挡水流量降低太多，围堰过水频繁，损失工期太多以致影响施工总进度会更不经济。例如贵州东风、陕西安康、贵州乌江渡等工程均因基坑过水次数偏多，或造成工程施工困难或延长了工期。相比之下，五强溪工程导流标准选用的就比较恰当，导流标准采用枯水期（9 月

至次年4月) 20年一遇洪水标准, 流量相当全年2年一遇洪水流量, 工程经过6年施工, 基坑一年只过一次水, 达到了工程建设预期的目的。

在使用中要注意下列几点:

(1) 为使选定的流量符合河流的水文特性, 满足安全、经济和工期要求, 除按重现期确定外, 当水文系列较长时亦可在分析实测资料的基础上确定。

(2) 围堰过水的最危险状况不一定发生在最大洪水期, 应找出最危险流量作为控制标准。

3.0.15 根据以往经验, 导流隧洞的进口闸门及出口围堰采用5~20年一遇的导流设计标准能满足要求。当封堵需要跨汛或者导流泄水建筑物的进出口土石围堰使用时间超过1年时, 需要适当提高设计标准。

4 围堰型式

4.1 一般规定

4.1.1 围堰系临时建筑物，通常围堰施工安排在一个枯水期修筑至设计高程或度汛高程，以保安全度汛。因此，围堰施工工期紧；同时，围堰在围护的永久建筑物投入运行前，需拆除部分堰体或全部堰体。故在选择围堰型式时，需考虑堰体结构简单、施工方便，在保证围堰施工质量的前提下，有利于加快施工速度和后期拆除。

为确保堰基满足堰体稳定和防渗要求，围堰型式选择时，结合围堰基础地质（含堰基覆盖层及基岩）条件，确定符合实际地质条件的可靠处理方案。堰基处理方案尽量简化，在保证施工质量前提下，有利于加快围堰施工进度。

4.1.2 为降低造价、利于环保、缩短工期，围堰型式选择要充分利用当地材料和主体建筑物基础开挖料，在大中型水电工程中一般优先选用土石围堰，以便于填筑和拆除。

4.2 土石围堰

4.2.1 土石围堰堰体防渗结构布置型式主要有心墙和斜墙。斜墙与堰体施工干扰小，基础防渗处理与堰体填筑可同时进行，以利基坑提早抽水，但围堰断面较大，往往增加了纵向围堰或隧洞、明渠的长度；心墙围堰其断面尺寸较斜墙围堰小，心墙和堰壳填筑需循序升高，其高差不宜过大，基础防渗处理与心墙填筑也不能同时进行。

4.2.2 本条为土石围堰堰体防渗材料的选择要求，说明如下：

1 土石围堰防渗体的水上部位优先选用土工膜防渗。土工膜具有性能可靠、变形能力强、施工方便、造价低廉等优点，而且避免了防渗土料开采对当地土地的侵占和环境破坏，有利于环

保，近年被广泛应用于水电工程的土石围堰中。土工膜有单层土工膜、加筋土工膜和复合土工膜，工程应用较多的为复合土工膜。目前围堰工程的土工膜的挡水水头大部分在 40m 以下，部分围堰工程如雅砻江锦屏一级上游围堰（44m）挡水水头超过 40m，尚未有超过 50m 的。《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》（SL/T 225—98）也规定，挡水水头大于 50m 的挡水建筑物采用土工膜防渗应经过论证。因此采用土工膜防渗其挡水水头不宜太高。如金沙江溪洛渡水电站上、下游土石围堰最大堰高分别为 78m 和 52m，上游围堰由于挡水水头高，堰体防渗采用碎石土斜心墙，而下游围堰堰体防渗采用土工膜心墙。

2 防渗土料作为传统防渗材料，防渗效果好，挡水水头高，施工方法成熟。造价也比较低，但其开采必然会对当地环境造成一定的破坏。如果坝址附近土料分布零星、弃料较多、有用层少、可采比低，对当地环境的破坏就会较大，此时尽量避免使用。如果坝址附近有渗透系数小于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 的土料，且分布集中、储量丰富、可采比高、开采条件良好、对环境影响也不大时，可优先用做防渗土料。若坝址附近有砂壤土、砾石土料或风化页岩石渣，碾压密实后渗透系数达 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，可用做防渗料，采用加大防渗体断面以满足围堰防渗要求。例如：长江葛洲坝水电站二、三江上游土石横向围堰采用砂壤土心墙防渗体；大江下游土石横向围堰高度 30~34m，河床部位轴线长 780m，堰基砂砾石覆盖层厚度 10~15m，平均渗透系数 $2.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ，最大 $9.8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ，围堰防渗体采用二江基坑开挖的黏土质粉砂岩石渣和二江围堰拆除的砂壤土及砂砾石混合料，在截流戽堤设砂砾石过渡带，其迎水侧全部抛填混合料，水下边坡 1:4，水上边坡 1:3，实测混合料的渗透系数 $1.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。围堰运行 5 年，实测最大渗水量 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ ，随着围堰坡脚处淤积，渗水量逐渐减小。当防渗体挡水水头较高时，采用其他防渗形式难以满足防渗要求或代价较高时，尽量采用防渗土料进行堰体防渗。如溪洛渡水电站上游土石围堰最大堰高为 78m，

挡水水头高，堰体防渗采用碎石土斜心墙。

3 除土工膜和土料防渗体以外，其他材料防渗体还有混凝土心墙、沥青混凝土斜墙和心墙、钢板桩心墙、混凝土防渗墙、高压喷射灌浆防渗墙、控制性帷幕灌浆等。

(1) 现浇混凝土心墙主要用于堰体水上部位，堰体水下部位因水下清基、立模、混凝土浇筑难度大而很少采用，常结合围堰基础防渗墙采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽，浇筑水下混凝土。例如：长江葛洲坝工程大江上游土石围堰水下部位最大深度 40m，防渗墙采用泥浆固壁冲击钻造孔成槽浇筑混凝土防渗墙，其水上部位防渗心墙高 10m，采用现浇混凝土防渗墙，围堰运行 5 年防渗效果良好。混凝土心墙也可用于堰基防渗，如龙羊峡水电站上游围堰堰基覆盖层厚度在 10m 以内，截流后堰体上游布置了 3 排帷幕灌浆临时防渗；在堰基开挖截水槽，浇筑了一道高 56m 的薄混凝土心墙，心墙顶部厚 0.96m，底部厚仅 1.94m，约为水头的 1/26，两侧坡度为 100 : 1；心墙混凝土配置了双向构造钢筋，心墙两侧为宽 2~6m 的砂砾石过渡层，用平碾碾压密实；围堰经 1981 年特大洪水考验，情况良好。

(2) 沥青混凝土斜墙和心墙可用于围堰防渗体的水上部位，沥青混凝土斜墙下接黏土斜墙铺盖，其插入黏土斜墙的深度为 $(1/2 \sim 1/3) H$ (水头)。沥青混凝土心墙下接混凝土防渗心墙，通常在接缝处设止水片，也可采用铺设沥青含量较高的沥青混凝土加厚层或填以沥青玛蹄脂等填料，以防止接缝脱开。沥青混凝土防渗墙须干地施工，受降雨影响大，目前在围堰中较少采用。

(3) 钢板桩心墙因其施工简单，且钢板桩可重复使用，故在国外水电工程应用较广泛。通常钢板桩高度 12~15m 为宜，适合于砂质基础。对于砂砾石覆盖层和堰体填料，如果堰体或堰基中颗粒粒径过大或密实度过大，打钢板桩不易成功。例如：陕西安康水电站一期围堰基础砂卵石覆盖层厚 8~15m，采用插打钢板桩防渗墙，围堰运行防渗效果较好。国内安徽梅山、安徽佛子岭水库上游围堰曾采用钢板桩作堰基防渗，江西万安水利工程低

水头围堰、一期下游围堰使用钢板桩防渗均取得了成功。

(4) 混凝土防渗墙、高压喷射灌浆防渗墙、控制性帷幕灌浆主要用于堰体水下部分和堰基的防渗处理。因工程造价相对较高，围堰工期相对较长，不利于及早闭气，大型工程围堰水上部分采用的较少。

近年来国内部分土石围堰工程防渗设计统计见表 1。

4.2.3 洪枯流量变化较大河流上的水电工程，可以采用过水围堰。混凝土过水围堰适应性强，但造价相对较高；土石围堰造价相对有优势，但防护难度大，需综合分析比较确定，纵向围堰流速较大时一般不采用土石结构。

溢流面、堰趾下游基础和两岸接头的防冲保护是土石过水围堰的设计重点，必须深入分析围堰过水水力条件，找出最不利的过流流量作为防冲保护的设计流量，分析其单宽流量和过流流速，并考虑流速分布、流态、脉动压力等，必要时通过水工模型试验研究验证，提出可靠的防冲保护措施。

土石过水围堰的型式按消能防冲方式主要有镇墩护脚式、顺坡护底式、坡面平台面流式三种。

镇墩护脚式是在围堰下游坡脚设置镇墩，一般采用混凝土结构，建在基岩上，并与混凝土面板溢流面结合布置。具有结构可靠、整体性好，宣泄流量大的优点。在堰后水深较小，不能形成面流衔接时较为适用；有时虽然堰后水深较大，为保护堰脚不受冲刷，也常采用此种型式，如江西上犹江水电站、湖南柘溪水电站的土石过水围堰。其缺点是镇墩施工对堰体填筑施工干扰较大，施工速度较慢，在覆盖层较厚的河床上修建时围堰施工工期较长。

顺坡护底式是在围堰下游坡脚及下游河床设置混凝土面板、钢筋石笼等措施，保护堰体坡脚及下游河床覆盖层，围堰下游溢流面水流与下游水流形成底流水跃衔接，利用底流消能。因此，水流对堰体坡脚及下游河床覆盖层冲刷较大，增加了防冲保护工程量，但可避免镇墩挑流式的镇墩和堰体填筑的施工干扰问题，如湖北黄龙滩水电站土石过水围堰采用此种堰型。

表 1 近年来国内部分土石围堰工程防渗设计统计表

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模						堰体防渗 (仅含水上施工部分)			堰基防渗 (含水下施工部分)		
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数		
1	瀑布沟上游横向围堰	土石不过水围堰	3	2583	47.5	10	土工膜斜墙	38.5	二布一膜 (PE) 350g/0.8mm/350g	悬挂式混凝土防渗墙	79.5	单排, 厚 0.8m		
2	瀑布沟下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	18.0	10	土工膜斜墙	7	二布一膜 (PE) 350g/0.8mm/351g	悬挂式混凝土防渗墙	26.5	单排, 厚 0.8m		
3	双江口上游横向围堰	土石不过水围堰	3	3308	51.0	—	—	41	—	混凝土防渗墙	65.5	单排, 厚 1m		
4	双江口下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	20.0	—	土工膜斜墙	10.5	—	混凝土防渗墙	—	单排, 厚 1m		
5	大岗山上游横向围堰	土石不过水围堰	3	2300	50.13	10	土工膜斜墙	36	二布一膜 (HDPE) 350g/1.0mm/350g	混凝土防渗墙	—	厚 0.8m, 深 25.1m		

表 1 (续)

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模				堰体防渗 (仅含水上施工部分)			堰基防渗 (含水下施工部分)		
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数
6	锦屏一级下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	23.0	10	土工膜心墙	10.53	—	混凝土防渗墙	75.03	厚 0.8m, 深 54m
7	公伯峡上游横向围堰	土石不过水围堰	4	—	38.0	10	土工膜斜墙	36.48	二布一膜 (PE) 0.8mm	混凝土截水墙	45.48	深 15m
8	鲁地拉上游横向围堰	土石—碾压混凝土混合过水围堰	4	2850	33.5	65	现浇混凝土防渗墙	10	厚 0.8m	混凝土防渗墙	38.5	厚 0.8m
9	蔡汗乌苏上游横向围堰	土石不过水围堰	4	—	31.88	7	土工膜	—	二布一膜 (PE) 600g/0.8mm/600g	悬挂式高喷防渗墙	45.88	厚 0.8m, 深 30m

表 1 (续)

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模				堰体防渗 (仅含水上施工部分)		堰基防渗 (含水下施工部分)			
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	
10	阿海上游 横向围堰	土石不过 水围堰	4	—	69.0	15	土工膜 心墙	38	二布一膜 (PE) 300g/0.75mm/300g	混凝土 防渗墙	72	厚 0.8m
11	阿海下游 横向围堰	土石不过 水围堰	4	×	30.0	15	土工膜 心墙	17.2	二布一膜 (PE) 300g/0.75mm/300g	混凝土 防渗墙	42	厚 0.8m
12	观音岩上游 横向围堰	土石不过 水围堰	3	11300	52.0	12	黏土斜 心墙	18	高 20.5m, 顶宽 4m	混凝土 防渗墙	62	厚 0.8m, 深 43m
13	景洪二期上 游横向围堰	土石不过 水围堰	3	—	65.0	12	土工膜	27.83	二布一膜 (PE) 300g/0.75mm/300g	高压旋喷 灌浆	64.37	—
14	景洪二期下 游横向围堰	土石不过 水围堰	3	×	42.5	10	土工膜	16.16	二布一膜 (PE) 300g/0.75mm/300g	高压旋喷 灌浆	54.52	—
15	金安桥上游 横向围堰	土石不过 水围堰	3	8700	62.0	15	土工膜 心墙	35.21	二布一膜 (PE) 300g/0.75mm/300g	混凝土 防渗墙	66.7	厚 0.8m

• 表 1 (续)

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模				堰体防渗 (仅含水上施工部分)			堰基防渗 (含水下施工部分)		
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数
16	梨园上游横向围堰	土石不过水围堰	3	13000	65.5	15	土工膜心墙	33.67	—	混凝土防渗墙	62.67	厚 0.8m, 深 45m
17	梯扎渡上游横向围堰	土石不过水围堰	3	50100	74.0	15	土工膜斜墙	29.85	—	混凝土防渗墙	79.85	厚 0.8m, 深 50m
18	梯扎渡下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	42.0	12	土工膜心墙	9.85	—	混凝土防渗墙	49.85	厚 0.8m, 深 40m
19	小湾上游横向围堰	土石不过水围堰	3	19300	60.59	8	土工膜心墙	33	—	混凝土防渗墙	47	厚 0.8m
20	小湾下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	38.0	8	土工膜心墙	13	—	可控缝灌浆	45	厚 3.0m
21	锦屏二级上游横向围堰	土石过水围堰	4	985	24.5/21	10	混凝土防渗墙	24	厚 0.8m	混凝土防渗墙	68	厚 0.8m

表 1 (续)

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模				堰体防渗 (仅含水上施工部分)			堰基防渗 (含水下施工部分)		
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数
22	那溪上游 横向围堰	土石过水围堰	4	<10000	29	10	土工膜	13	厚 0.8mm	混凝土防渗墙	40	厚 0.8m
23	水口上游 横向围堰	土石不过水围堰	4	80000	44.55	10	土工膜心墙	26.55	二布一膜 (PVC) 300g/0.8mm/300g	混凝土防渗墙	—	厚 0.8m, 深 43.6m
24	水口下游 横向围堰	土石不过水围堰	4	×	31.9	12	土工膜心墙	9.9	二布一膜 (PVC) 175g/0.16mm/175g	混凝土防渗墙	—	厚 0.8m, 深 36.7m
25	龙开口二期 上游横向 围堰	土石不过水围堰	4	9700	55.0	10	土工膜心墙	33.49	二布一膜 (PE) 350g/0.5mm/350g	混凝土防渗墙	61.3	厚 0.8m, 深 33.5m
26	龙开口二期 下游横向 围堰	土石不过水围堰	4	×	30.0	10	土工膜心墙	12.89	二布一膜 (PE) 350g/0.5mm/350g	混凝土防渗墙	40.69	厚 0.8m, 深 27.5m
27	滩坑上游 横向围堰	土石过水围堰	4	<10000	23.5/18	8	土工膜	17	厚 0.8mm	混凝土防渗墙	45	厚 0.8m

表 1 (续)

序号	围堰名称	围堰堰型	围堰规模				堰体防渗 (仅含水上施工部分)			堰基防渗 (含水下施工部分)		
			围堰级别	堰前库容 (万 m ³)	最大堰高 (m)	堰顶宽度 (m)	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数	防渗型式	挡水水头 (m)	防渗参数
28	三板溪上游横向围堰	土石不过水围堰	4	3040	30.0	7	黏土心墙	30	—	黏土心墙	31	—
29	向家坝二期上游横向围堰	土石不过水围堰	3	50900	59.0	10	土工膜斜心墙	28.56	350g/0.5mm/350g	混凝土防渗墙	90.56	厚 0.8m, 深 62m
30	向家坝二期下游横向围堰	土石不过水围堰	3	×	45.0	10	土工膜斜心墙	19.5	350g/0.5mm/350g	混凝土防渗墙	64.5	厚 0.8m, 深 45m
31	光照上游横向围堰	土石不过水围堰	4	980.8	22.0	15	土工膜斜墙	21.5	—	高喷防渗墙	—	厚 0.5m, 深 17m
32	光照下游横向围堰	土石不过水围堰	4	—	13.3	15	土工膜斜墙	12.8	—	—	—	—
33	引子渡上游横向围堰	土石不过水围堰	4	5430	23.5	10	土工膜斜墙	3.5	—	高喷防渗墙	—	—

注：“—”为没有收集到；“×”为无此项指标。

坡面平台面流式是在围堰下游溢流面的下部设置平台，借助平台挑流与下游水流形成面流水跃衔接，利用面流消能。因此，可减少水流对平台下游堰坡和堰后基础的冲刷，降低平台下游的防护难度，而且施工速度也比较快，目前运用较多。如浙江富春江水电站二期上游土石过水围堰、云南功果桥水电站上游土石过水围堰、鲁地拉水电站下游土石过水围堰、大朝山水电站下游土石过水围堰等均采用了此种堰型，国外莫桑比克的卡博拉巴萨的下游围堰也采用此种堰型。

国内、国外部分土石过水围堰工程运用状况见表 2、表 3。

表 2 国内若干水利水电工程土石过水围堰工程运用状况

工程名称	堰高 (m)	护面类型与材料尺寸 (m)	过水状况	损坏状况
上犹江	20	混凝土 (1.5) 护面	$q = 27.0, V = 5.0$	设计 $Q=40.0$
柘溪	28	混凝土板 (0.5) 和 $d (1.0)$ 石笼	$q=10.0, H=3.08$, 水跃跃首 $V_m=14.5$	铅丝笼有损坏, 抗滑差 (笼内石料太小)
庙岭	20.3	沥青混凝土护面	$q = 11.0, V_m = 16.0 \sim 17.0$	表面轻度损坏 (糙率由 0.0167 增至 0.0189)
石桥	20.3	沥青混凝土护面	$q=12.5$	完好
高思	19.4	干砌、浆砌石	$q=6, h=2.6$	
王家园	36.8	混凝土护面	$q=24.6$	
乌江渡 (上堰)	40	混凝土护面	$q=75.0, H=16.2, V_m=4.6$	正常运用
故县	14	混凝土护面	$q=11.0$	
天生桥二级	14.7	堰顶混凝土板, 护坡为混凝土砌体 (3.5 × 2 × 0.7)	$V_m = 9.0, H = 5.7$	模型上 $q=40, Z=4$ 仍安全 (坡面 1:6)

表 2 (续)

工程名称	堰高 (m)	护面类型与材料尺寸 (m)	过水状况	损坏状况
东风	17.5	堰顶混凝土板, 护坡为混凝土楔体 (厚 0.7)	$q = 10.5, V_m = 11.2, H = 8.6, Z = 4.0$	完好无损 (坡面 1:6.5, 边坡上水跃)
流溪河	14	混凝土板	$q = 30.0, V_m = 8.0, H = 3.8,$	安全度汛
楠木峡	20	混凝土板 (厚 0.4), 毛石镇墩	$q = 6.7$	正常 (下游坡 1:1.5)
普定	15.5	键槽楔形体, 互相搭接	$H = 12.5, Z = 5.4$	情况良好 (下游坡 1:6)
新丰江	25	混凝土板 (厚 1.5~2.0m)	$V_m = 15.0, q = 31.0$	施工中面板未做即过流, 堰体冲毁 2/5

注: q 为实际过水单宽流量, $m^3/(s \cdot m)$; V_m 为实际堰面最大流速, m/s ; H 、 h 、 Z 为堰上水头、堰面水深和水头, m 。

表 3 国外若干水利水电工程土石过水围堰工程运用状况

工程名称	国名	堰高 (m)	护面类型与材料尺寸 ($m \times m \times m$ 或 m)	过堰水流情况	护面损坏状况
卡博拉巴萨 (Caborabosa)	莫桑比克	37.0	3~5t 块石混凝土板 ($7 \times 7 \times 2.5$ 透水)	$q = 50.0, h = 4.0, V_m = 9.0$	未发生严重损坏 (设计 $q = 100, V_m = 23$)
阿科姆博 (Akocombo)	加纳	68.0	铅丝笼 ($0.92 \times 0.92 \times 2.75$)	$q = 67.0, h = 5.12, V_m = 13.0$	正常 ($q = 69.3$)
德聂泊 (Dneiper)	苏联		混凝土楔形板 ($3 \times 2 \times 0.7$)	$q = 36.0, V_m = 11.0 \sim 12.0$	获得成功
阿马内昌	苏联	20.0	混凝土楔形板 ($2 \times 2 \times 0.25$)	$q = 60.0, V_m = 17.0 \sim 23.0, H = 37.0, Z = 35.0$	出现沉降, 仍每年过水, 排水 (下游边坡 1:2)

表 3 (续)

工程名称	国名	堰高 (m)	护面类型 与材料尺寸 (m×m×m 或 m)	过堰水流情况	护面损坏状况
努列克	苏联	20.5	混凝土板 (1.5 × 1.5 × 0.8)	$q = 40.0$, 面 流消能	坝体沉陷 1m, 部分混 凝土板, 砾石 冲走
德聂斯特 罗夫斯克	苏联	20.0	混凝土楔形板 (1 × 1 × 0.25) 铰接	$q = 20.0$	护面作用 明显
托克 托古利	苏联	25.0	钢筋混凝土 陡槽	$q = 12.0$, 淹 没水跃, 底流 消能	除消力池有 变形, 无大损 坏(下游坡面 1:3.7)
汉塔依	苏联		大块石, 块石 护面	$q = 66.7$ 底流 消能	完全冲毁
亚库梯	苏联	22.0	块石(0.5) 护面	$q = 3.08$ 面流 消能	正常
奥尔特 (Ord)	澳大利 亚	31.8	块石(1.0) 砌护钢筋锚固	$q = 46.0$, V_m $= 4.5$	总体完好, 少量小块石 冲失
阿里德阿 达维拉	西班牙	30.0	混凝土(6× 6, 厚0.8)护面	$q = 40.0$	安全度汛
露色雷斯	苏丹		石笼块石	$q = 40.0$	正常
依尔 一克久	洪都 拉斯	40.0	钢筋护面与坝 体锚固	$q = 30.6$	下游坡度1: 2, 模型成果

注: q 为实际过水单宽流量, $m^3/(s \cdot m)$; V_m 为实际堰面最大流速, m/s ; H 、 h 、 Z 为堰上水头、堰面水深和水头, m 。

4.3 混凝土围堰

4.3.2 碾压混凝土每立方米的水泥用量为 50~70kg (胶凝材料

总量 140~165kg, 粉煤灰掺量约为 55%~65%), 较常态混凝土的水泥用量低。混凝土施工方法简单, 施工速度快, 劳动强度大的立模工作量减少, 温控措施简化, 工程投资较省。我国在混凝土围堰中已推广采用碾压混凝土。例如: 广西岩滩水电站, 上、下游过水围堰均采用碾压混凝土围堰, 上游围堰高 52m, 轴线长 278m, 碾压混凝土量 17.2 万 m^3 ; 下游围堰高 42m, 轴线长 260m, 碾压混凝土量 11.3 万 m^3 ; 上下游围堰浇筑历时 106d, 月高峰强度达 12.3 万 m^3 , 月最大上升高度 25.3m。湖北清江隔河岩水电站上游过水围堰采用碾压混凝土围堰, 围堰高 42m, 轴线长 290m, 碾压混凝土量 11.1 万 m^3 , 围堰浇筑历时 87d, 月最大上升高度 20.7m。广西龙滩水电站上游碾压混凝土围堰堰顶长 368.3m, 最大堰高 73.2m, 混凝土总量约为 50.5 万 m^3 , 浇筑历时 139d, 月高峰强度达 18.5 万 m^3 , 月最大上升高度 21m, 最大日上升高度 1m, 最大日浇筑强度 1.05 万 m^3 。三峡水利工程三期碾压混凝土围堰, 堰体高度 121m, 轴线长 549m, 混凝土总量 167.36 万 m^3 , 分两期施工, 二期施工最大浇筑高度约 90m, 共浇筑 110 万 m^3 , 浇筑历时 122d, 月高峰强度达 48 万 m^3 , 月最大上升高度 27.9m, 高峰月平均日上升高度 0.9m (3 层), 最大日上升高度 1.2m/d, 最大日浇筑 2.1 万 m^3 /d, 创造了世界最高水平。

国内部分碾压混凝土围堰工程特性及施工指标见表 4。

4.3.3 混凝土围堰常用重力式和拱型, 拱型混凝土围堰对两岸拱座的地质条件要求比重力式围堰严格, 适合于岸坡稳定、岩石坚硬完整的地基, 以及两岸地形陡峻的峡谷河床。例如, 贵州乌江渡水电站、云南大朝山水电站、浙江紧水滩水电站等工程的上游过水围堰都做成拱型围堰。一般情况下, 堰顶处宽高比 $L/H \leq 3.0$ 时 (L 为堰顶河谷宽度, H 为最大堰高), 适宜于拱型围堰; L/H 为 3.0~4.0 时适宜于重力拱型围堰; $L/H \geq 4.0$ 时适宜采用重力式围堰。

表 4 国内部分碾压混凝土围堰工程特性及施工指标表

序号	围堰名称	围堰特征				围堰施工指标				
		最大堰高 (m)	轴线长度 (m)	碾压混凝土 (万 m ³)	浇筑历史 (d)	月高峰 浇筑强度 (万 m ³)	最大月 上升高度 (m/月)	最大日 浇筑强度 (万 m ³)	最大日 上升高度 (m/d)	
1	岩滩上游重力式 围堰	52	278	17.2	106	12.3	25.3	0.82	1.5	
2	岩滩下游重力式 围堰	42	260	11.3						
3	隔河岩上游重力式 围堰	42	290	11.1	87	—	20.7	0.79	1.47	
4	龙滩上游重力式 围堰	73.2	368.3	50.5	139	18.5	21	1.05	1	
5	三峡三期重力式 围堰(二期施工期)	90	—	110	122	48	27.9	2.1	1.2	
6	大朝山上游双 曲拱围堰	53	175.5	11.6	52	—	24	—	—	
7	构皮滩上游 重力围堰	72.6	124	—	103	—	—	—	—	
8	构皮滩下游 重力围堰	47.4	—	12.68	102	—	—	0.51	—	
9	向家坝二期纵向 重力式围堰 (大坝下游段)	37.5	—	8.3	62	4	—	—	—	

4.4 其他型式围堰

4.4.1 胶凝砂砾石坝 (CSG) 是介于混凝土面板堆石坝和碾压混凝土重力坝之间的一种新坝型, 是利用天然砂砾石混合料或开挖弃渣料, 掺入少量胶凝材料, 胶结成具有一定强度的干硬性坝体。其显著的特点是: 胶凝材料用量少, 对筑坝材料要求低, 坝体和地基受力条件好, 具有一定的抗冲能力。胶凝砂砾石坝 (CSG) 起源于欧洲, 在法国、希腊和土耳其等国家已建成了 10 余座, 其中土耳其的两座坝坝高都超过 100m。日本至今已有 10 余座 CSG 坝 (围堰) 建成。我国的贵州松桃道塘大坝、福建尤溪街面大坝和宁德洪口大坝均采用了 CSG 围堰, 取得了较好的效果。洪口水电站上游围堰为 CSG 过水围堰, 设计挡水标准为枯水时段 10 年一遇洪水, 相应流量 $1350\text{m}^3/\text{s}$, 过水标准采用全年 10 年一遇洪水, 相应流量为 $4180\text{m}^3/\text{s}$, 围堰堰顶轴线长 87m, 顶宽 4m, 高度 35.5m, 上下游坡比分别为 1:0.3 和 1:0.75。坝顶设常态混凝土保护层 50cm, 上游面和基础设置 50~80cm 厚富浆混凝土防渗层; 围堰基础位于基岩上。堰体胶凝材料用量 $70\sim 90\text{kg}/\text{m}^3$, 其中水泥 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 。2006 年 6 月洪峰过堰流量达 $5400\text{m}^3/\text{s}$, 堰顶水头达 8m 左右, 总过水时间 44h。洪峰过后经检查, CSG 堰体无任何裂缝, 只是最大渗漏量达 $8\text{L}/\text{s}$, 围堰经受住超标准洪水的考验。

堆石混凝土 (RFC) 技术是一种新型大体积混凝土施工技术, 是利用自密实混凝土 (SCC) 的高流动、抗分离性能好以及自流动的特点, 在粒径较大的块石 (原则上块石粒径在 300mm 以上) 内随机充填自密实混凝土而形成的混凝土堆石体。它具有水泥用量少、水化温升小、综合成本低、施工速度快、良好的体积稳定性、层间抗剪能力强等优点, 在迄今进行的筑坝试验中已取得了初步的成果。堆石混凝土已在河南宝泉水库、向家坝水电站、山西恒山水库、山西清峪水库、四川枕头坝水电站等工程得到应用。

4.4.2 钢板桩格型围堰是一系列彼此连接的钢板桩格体所组成的临时挡水建筑物，格体钢板桩的锁口互相扣接形成一定形态的封闭空间，内回填砂砾石料以保持格体稳定。钢板桩格型围堰在岩石基础、混凝土基座上修建较为简单，在软基上也可修建。但板桩须有一定的入土深度或打到岩层内；对于含有大量漂砾石的覆盖层，打桩极为困难，适用性较差。按格体形状，钢板桩格型围堰有圆筒形、鼓形、花瓣形等型式，圆筒形格体最高挡水水头可达15~18m；花瓣形格体最高挡水水头可达30m左右。美国马克兰德水电站厂房施工围堰采用双排圆筒形格体，圆筒形格体直径18.90m，高度达35m；美国肯塔基水电站围堰采用花瓣形，花瓣形格体最大宽度30.67m，高度为29.87m；葛洲坝工程二期纵向围堰采用干地施工，先浇筑混凝土基座，上接钢板桩格型围堰，圆筒形格体直径19.87m，高度为19.5m，在混凝土面上安装钢板桩形成圆筒格体，再回填砂砾石料。

4.4.3 竹笼围堰是用内填块石的圆柱形竹笼堆叠而成，迎水面用木板、混凝土面板或黏土阻水的围堰型式，多用于我国南方。竹笼围堰的使用年限一般为1~2年，最大高度约15~16m，施工时水深一般不大于2~3m。采用木阻水面板允许流速约4~5m/s，如采用混凝土面板可达8~10m/s。如浙江富春江水电站上游过水围堰，高度28m，采用竹笼背水侧设土石支撑体的竹笼土石混合围堰，围堰顶部采用竹筋混凝土面板保护，溢流单宽流量 $30\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ；湖南马迹塘水电站竹笼土石混合围堰，最大堰高12.5m，黏土心墙防渗。

草土围堰是一种草土混合结构，在黄河流域应用较多，例如黄河的青铜峡水电站、盐锅峡水电站、八盘峡水电站、汉江的石泉水电站和喜河水电站都成功采用过草土围堰。草土围堰适用于岩基或软基，但要有一定的抗冲能力；细砂或淤泥基础因易被冲刷，不适宜采用；如河床大孤石过多，草土体易被架空，形成漏水通道，不易处理。草土围堰在施工水流流速小于2m/s时，施工水深可达10m；流速2~3m/s时，施工水深一般不超过6m；

流速超过 3.5m/s，施工较困难。草土围堰挡水水头较小，最大挡水水头约 10m，宁夏八盘峡工程修建的草土围堰最大高度达 17m，施工水深 17m，最大流速 1.7m/s，实际挡水高度 14m，高度及水深突破了上述范围。由于草料易于腐烂，草土围堰使用期一般不超过 2 年。围堰堰顶宽度一般为水深的 2~2.5 倍。

4.4.4 浆砌块石围堰所用的石料、砂砾料可以就地取材。所用水泥、钢材、木材的消耗量较混凝土围堰少，投资也较省。较土石围堰抗冲性能好，且施工期允许过水。浆砌块石围堰可作纵向围堰和横向过水围堰。浆砌块石围堰需在干地施工，以保证砌石质量。若具备水下施工条件，可将水下部分浇筑混凝土，水上部分采用浆砌块石。例如：隔河岩水电站下游围堰缺口封堵纵向隔墙及导流隧洞封堵期为保证坝下游供水而修筑的土石围堰纵向导墙均采用浆砌块石。

预留岩坎和岩塞主要适用于岸边式泄水建筑物进口出口施工，可充分利用岩石挡水，减少导流工程量，如大朝山水电站尾水出口和导流隧洞进口、河北张和湾抽水蓄能电站下水库进（出）水口、湖北白莲河抽水蓄能电站下水库进（出）水口等工程施工导流均采用预留岩坎，并在岩坎上浇筑混凝土围堰挡水；安徽响洪甸抽水蓄能电站上水库进（出）水口施工采用预留岩塞挡水，采用水下岩塞爆破的方式形成上水库进（出）水口，与传统的围堰法施工相比，大大节省了投资。采用预留岩坎和岩塞挡水时，要做好爆破拆除设计，并综合考虑其对泄水建筑物进口布置、水力学条件及造价的影响。

4.4.5 过水围堰上部的子堰除要求具备挡枯水期洪水的能力，还要求具备方便良好的拆除或自溃条件，过水围堰的子堰最好具备扒缺口后自溃的能力。

5 围堰布置

5.1 一般规定

5.1.1 围堰布置要满足围护建筑物的施工及围堰自身的稳定、防渗及防冲等要求，尽可能利用地形地质及工程条件，减小围堰工程量。

1 围堰布置要满足围护的建筑物基础开挖、施工机械、施工道路及施工场地布置，基坑排水系统布置等要求。

2 围堰与岸坡接头设计要保证堰体与岸坡结合面具有良好的防渗性能并防止岸坡附近的堰体因不均匀沉陷而开裂。土石围堰与混凝土建筑物的连接型式，要防止与防渗体接触带产生渗透变形破坏，以保证围堰稳定并使结合面具有良好的防渗性能。

3 围堰布置要考虑围堰稳定及堰后基坑开挖边坡稳定等因素。对堰地质条件复杂及深厚覆盖层的基坑开挖边坡，围堰布置要考虑为堰后基坑边坡需要的工程处理措施留出位置；若布置有困难，可在背水坡脚处设置临时挡墙。对永久建筑物基础开挖较深时，要对围堰基础岩层和覆盖层中的软弱层面稳定进行核算。

4 围堰布置要考虑水力条件及防冲要求：

(1) 纵向围堰布置既要考虑沿线堰体坡脚附近水流平顺，还需兼顾上、下游横向围堰坡脚附近的流态、流速情况，避免水流紊乱对横向围堰坡脚造成危害性冲刷。

葛洲坝水电站一期土石围堰因围护二期纵向围堰上、下游端部弯段施工的需要，上游横向段与纵向段的相接处、下游横向段与纵向段的相接处形成凸出部位（称矾头），起到挑流作用，矾头部位坡脚流速达 $5\sim 7\text{m/s}$ ；纵向段沿线及下横段坡脚处为回流区，流速 $1\sim 2\text{m/s}$ ；对矾头部位进行重点防冲保护，运行实践证明此设计是成功的。

三峡水利工程一期土石围堰主要保护右岸导流明渠、混凝土纵向围堰和三期碾压混凝土围堰基础部分施工。围堰纵向段坡脚已伸入大江主流区，根据水工模型试验资料，设计流量 $72300\text{m}^3/\text{s}$ ，河道平均流速 $3\sim 3.5\text{m}/\text{s}$ ，围堰束窄河床约 30% ，上、下游转角起挑流作用，迎水侧坡脚处流速达 $4\sim 5\text{m}/\text{s}$ ，纵向段及下游横向段存在不同程度的回流。参照葛洲坝水电站工程实践经验，确定围堰防冲“守点顾线”设计方案，在围堰上、下游转角处设防冲矶头，作为重点防护，采用堆石体护脚，围堰顺水流向沿线迎水坡设一般块石及石渣护坡。

三峡工程混凝土纵向围堰，其上、下纵端部均采用曲线布置，主要考虑了以下水力条件：上、下纵的形状、长度，尤其是上纵上端弯曲部位必须满足二期工程施工期明渠通航条件要求；上、下纵平面布置要使二期导流期间水流平顺，以保围堰防冲安全；上纵布置尽量减少对导流底孔泄流的影响，减小三期截流难度；下纵对水流起导向作用，使主流尽快归槽，避免主流直冲右岸。

(2) 围堰与导流泄水建筑物（包括临时的导流建筑物和永久泄水建筑物）进出口的距离要考虑导流泄水建筑物泄流的流态及流速情况，必要时在导流泄水建筑物进出口修筑一定长度的导墙，以防止导流泄水建筑物泄流对围堰坡脚造成危害性冲刷。

5 围堰位置要考虑基础覆盖层及基岩条件，围堰防渗轴线一般选择在覆盖层较薄和基岩条件较好的部位，以减少围堰基础防渗处理工程量。

6 围堰布置尽量避开两岸溪沟进入基坑，同时堰体与岸坡接头需防止两岸溪沟的水流对围堰坡脚的冲刷。围堰布置若较难避开两岸溪沟对堰体的影响，可研究采用排水洞（沟）、撇洪沟等措施将溪沟改道引至基坑外，或采用强排水、挡墙防护等措施。例如：葛洲坝水电站大江下游土石围堰与右岸坡接头位于紫阳河（实测最大流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ ）出口处，设计采用一条长 138m 的改道隧洞（宽 4m ，高 4.5m 的圆拱直墙断面）将紫阳河出口

向下游移 200m 引入长江，避免了紫阳河出口水流对围堰坡脚的冲刷，运行效果很好。

5.1.2 围堰与土石坝坝体结合，利用堰体作为坝体的一部分，可以缩短导流洞长度，以节省工程投资。如：糯扎渡水电站黏土心墙堆石坝高 261.5m，其上游土石围堰高 74m，下游土石围堰高 42m，上、下游围堰与坝体结合布置；水布垭水电站混凝土面板堆石坝高 233m，其下游碾压混凝土过水围堰高 33m，与坝体结合布置。

5.2 横向围堰布置

5.2.1 上、下游横向围堰迎水坡脚距导流泄水建筑物进出口的距离，通常为：距导流泄水建筑物进口，混凝土围堰为 10~30m，土石围堰为 30~50m；距导流泄水建筑物出口，混凝土围堰为 30~50m，土石围堰为 50~100m，以防止导流泄水建筑物泄流对围堰坡脚造成危害性冲刷。

5.2.2 上、下游横向围堰通常布置为直线，根据工程地形、地质条件及枢纽布置情况，围堰也可布置为折线。例如：葛洲坝工程二期上、下游土石横向围堰为围护大江船闸及导航墙施工，围堰布置为折线。对于横向混凝土围堰及浆砌块石围堰，为减少工程量，视地形、地质条件也可布置呈拱形或曲线形。

5.2.3 过水围堰过水部分的轴线通常与河道水流向垂直布置，使堰顶泄流均匀、平顺，避免水流集中及紊乱水流对堰体和两岸及下游基础造成危害性冲刷。

5.3 纵向围堰布置

5.3.1 通常在大江大河上修建纵向围堰，水深、流急，其施工难度较大，因此纵向围堰位置大多选在坝址河床漫滩基岩较高处，以避开河道主流区。纵向围堰位置还应根据枢纽布置要求，考虑导流流量、导流期间的水力条件、对通航的影响、围堰及河床的防冲保护措施等因素，综合分析比较确定。

为围护纵向围堰施工，通常需修建一期围堰。一期围堰纵向段布置主要满足围护建筑物的施工和一期导流水力条件的要求，一般布置为平行河道的直线。

对在岩基和覆盖层较薄的河床，一期围堰束窄河床程度可控制在 40%~60%，例如：浙江新安江水电站、广西西津水电站一期围堰束窄河床程度为 60%，甘肃盐锅峡水电站一期围堰束窄河床程度达 67%，吉林红石、宁夏青铜峡水电站一期围堰束窄河床程度达 70%。对河床较宽，且覆盖层较厚的河床，一期围堰束窄河床程度取用 30%~40%。例如：广西大化水电站一期围堰束窄河床程度为 40%，罗马尼亚与南斯拉夫在多瑙河上合建的铁门水电站一期围堰束窄程度为 35%。但在大江大河上修建纵向围堰影响因素较多，一期围堰束窄河床程度宜采用 30%左右，例如：汉江喜河水电站和蜀河水电站，一期围堰束窄河床程度分别为 30%和 43%。金沙江向家坝水电站，一期围堰束窄河床程度为 46%，澜沧江景洪水电站一期河床缩窄度为 45%。长江葛洲坝工程和三峡工程因受地形、地质条件和施工通航等因素的制约，一期围堰束窄河床程度分别为 25%和 30%。三峡工程，一期围堰束窄河床的范围必须考虑一期工程施工期的通航要求，其围护的建筑物为混凝土纵向围堰和导流明渠，但为满足二期施工通航要求，除导流明渠在流量 20000m³/s 以下通航外，另在左岸建一座全年通航的临时船闸。

5.3.2 纵向围堰多两期共用，一般采用混凝土围堰或钢板桩格型围堰，例如：三峡水利工程、嘉陵江亭子口水利枢纽均采用三期导流方式，其纵向围堰为二、三期共用的混凝土纵向围堰。纵向围堰分为三段：上纵段、坝体段和下纵段。混凝土纵向围堰中间段一般布置为直线，上、下纵段端部常布置为曲线，以满足导流明渠水力条件要求。

5.3.3 纵向围堰的长度一般伸出上、下游横向围堰坡脚 10~30m，也可在与纵向围堰相接的堰体坡脚设置块石防冲体，防止泄流对围堰坡脚造成的危害性冲刷。

5.4 其他围堰布置

5.4.1 导流泄水建筑物和引水发电系统的进、出口围堰等可优先利用预留岩坎、岩塞布置围堰挡水，充分利用地形地质及工程条件，节省围堰工程量。例如：构皮滩水电站导流隧洞进、出口围堰利用预留岩坎，并在岩坎上浇筑混凝土围堰；亭子口水利枢纽利用预留岩坎作为导流明渠进、出口围堰；大朝山水电站尾水出口位于常水位以下16~18m，采用预留岩坎，并在岩坎上浇筑混凝土围堰等；刘家峡水电站新建排水洞进水口工程位于水深80m的库内，且上覆36m厚淤泥沙层，常规围堰施工方法难度非常大，采用岩塞挡水，技术可行，经济合理。

5.4.2 岸边式厂房围堰采用顺河向布置，围堰布置时需考虑对河床的束窄程度的影响，尽量满足河床及对岸的防冲要求。

5.4.3 三门峡泄水底孔的改建采用特种钢围堰型式。黄河天桥水电站泄洪坝段出口检修门槽维修施工，采用了支承在闸墩头部的钢围堰挡水，利用橡胶袋装混凝土解决钢围堰与凹凸不平闸墩表面的封水和支承问题。在一些大中型节制闸、船闸改扩建及加固工程中，钢制浮箱使用较为普遍，造价低且便于安装就位及拆除。

6 围堰结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 根据围堰的堰型，围堰结构设计参照有关水工建筑物设计规范进行。

6.1.2 围堰结构设计基本与坝工设计相同，由于围堰具有使用期短，堰前水位时涨时落、高水位持续时间短等特点，设计荷载只需按正常情况计算就可满足要求。若遇到超标准荷载，可采取临时措施解决。围堰设计荷载一般包括围堰自重、设计洪水位的静水压力、浮托力、渗透压力、土压力、泥沙压力、风浪压力等，根据围堰型式及其运用条件确定。对属 3 级建筑物的围堰，尚需核算校核洪水位（或保堰洪水位）的静水压力和施工荷载作用下围堰的稳定。作用在围堰上的荷载计算可采用《水工建筑物荷载设计规范》（DL 5077—1997）中荷载计算中的计算公式。

6.2 堰体结构

6.2.1 堰顶高程根据水力计算成果、施工、防洪、移民、通航、发电等要求，综合各种因素统筹考虑，重要工程还要通过水工模型试验对比分析确定。围堰断面设计首先参照国内外水电工程已建的各种型式围堰断面尺寸，结合本工程水文气象、围堰地形地质条件、填料物理力学指标以及施工条件，初步拟定围堰断面，然后通过结构计算分析进行调整，最后确定围堰断面。

(1) 土石围堰填筑时，有部分是在水下抛填完成的，水上部分碾压也没有土石坝严格。对于块石料，水上和水下部分的坡比可分别取 $1:1.4\sim 1:1.5$ 和 $1:1.5\sim 1:1.6$ ；对于砂砾石料，水上和水下部分的坡比可分别取 $1:1.5\sim 1:1.7$ 和 $1:1.7\sim 1:2.0$ 。砂壤土的水下设计坡比一般取 $1:3\sim 1:6$ 。堰面根据堰面排水、检修、监测、道路及堰体稳定等因素每高差 $10\sim 15\text{m}$

设置一级马道，马道宽度不宜小于 2m。防渗土料心墙顶宽不小于 1m，边坡 1:0.2~1:0.5；防渗体与堰壳之间反滤层厚度不小于 0.5m。

(2) 单向挡水的混凝土围堰的坡比，迎水坡可取 1:0~1:0.15，背水坡可取 1:0.6~1:0.75。

(3) 浆砌块石围堰的坡比，迎水坡可取 1:0~1:0.2，背水坡可取 1:0.65~1:0.8。

6.2.2 围堰顶宽主要考虑施工和防汛抢险要求。

(1) 土石围堰堰顶宽度一般取为 4~12m；对部分围堰高度大或有特殊要求的工程堰顶宽度可适当增加。

(2) 混凝土围堰、浆砌块石围堰堰顶宽度一般取为 3~7m，若有交通要求，其堰顶宽度一般不小于 5m。对小型工程可适当放宽要求。

(3) 钢板桩格型围堰平均宽度为 0.85D（圆筒格体直径）；框架填石围堰宽度一般为高度的 1.0~1.3 倍；竹笼围堰高度一般为 10~15m，顶宽 5~10m。

部分工程围堰堰顶宽度统计如表 5 所示。

表 5 部分工程围堰堰顶宽度统计 单位：m

工程名称	围堰等级	围堰型式	上游最大堰高	上游堰顶宽度	下游最大堰高	下游堰顶宽度
三峡水利工程二期	上游：Ⅱ 下游：Ⅲ	土石围堰	82.5	15	65.5	15
拉西瓦	Ⅳ	黏土心墙土石围堰	45.3	15	20	15
公伯峡	Ⅳ	土石围堰	48	10		
察汗乌苏	Ⅳ	土石围堰	31.9	7		
蜀河	Ⅳ	土石围堰	34	10		
大岗山	Ⅲ	土石围堰	50.1	10	31.5	10
锦屏一级	Ⅲ	上游：土工膜斜墙围堰； 下游：土工膜心墙围堰	64.5	10	23	10

表 5 (续)

工程名称	围堰等级	围堰型式	上游最大堰高	上游堰顶宽度	下游最大堰高	下游堰顶宽度
瀑布沟	Ⅲ	土石围堰	47.5	10	18	10
两河口	Ⅲ	堆石围堰	64.5	12		
溪洛渡	Ⅲ	上游: 碎石土斜墙围堰; 下游: 土工膜心墙围堰	78	12	52	12
小湾	Ⅲ	上游: 黏土心墙围堰; 下游: 土工膜心墙围堰	60.6	8	38	6
二滩	上游: Ⅲ; 下游: Ⅳ	上游: 黏土心墙围堰; 下游: 黏土斜墙围堰	56	12	30	15
西津		一期上游黏土斜墙围堰	22	4		
富春江		二期下游黏土心墙围堰			12	5
金安桥	Ⅲ	土工膜心墙土石围堰	59	15	34	15
糯扎渡	Ⅲ	上游: 黏土斜墙围堰; 下游: 黏土心墙围堰	74	15	36	12
三峡	Ⅰ	三期 RCC 围堰	121	8		
构皮滩	Ⅳ	RCC 重力围堰	72.6	8	47.4	8
龙滩	Ⅲ	RCC 重力围堰	82.7	7	48.5	7
黄龙滩		混凝土纵向围堰	21	1.5		
石泉		混凝土纵向围堰	13	1.8		
紧水滩		上游拱围堰	27	3.6		

6.2.3 强调 3 级土石围堰的防渗体顶部应预留竣工后的沉降超高。在确定围堰顶部高程时, 需要考虑波浪高度、沉陷量、安全加高和其他水力因素。其中, 波浪高度和沉陷量可按《碾压式土石坝设计规范》(SL 274) 计算选取。其他类型围堰如钢板桩围堰、框架填石围堰等安全加高值可按土石围堰值取用, 折冲水流和冰塞等引起的水位壅高可结合试验和现场等实际情况确定。

6.2.4 强调过水围堰堰顶高程按围堰挡水期设计洪水的静水位

加波浪高度确定，不计安全加高值。为了降低过水围堰的保护难度和工程量，过水围堰上部经常设置子堰。国内部分工程过水围堰设计挡水位及子堰高度见表 6。

表 6·国内部分工程过水围堰设计挡水位及子堰高度

单位：m

项 目	设计挡水位	过水围堰顶高程	子堰高程	子堰高度
皂市水利枢纽上游土石过水围堰	96.33	92.0	98.0	6.0
普定水电站上游土石过水围堰	1100.7	1098.0	1101.2	3.2
桥巩水电站上游过水土石与橡胶坝结合围堰	78.0	73.5	78.5	5

6.2.5 施工平台的高程要能保证防渗墙施工顺利进行，平台的平面尺寸应满足造孔、清渣、混凝土浇筑和交通要求。

6.2.6 本条结合近 10 年来我国水利水电工程的建设经验，对土石围堰的结构设计提出了要求。

1 土石围堰的碾压指标，高度超过 30m 的 4 级围堰可参照《碾压式土石坝设计规范》(SL 274) 的有关规定控制；高度小于 30m 的 4 级及 5 级围堰可参照《小型水利水电工程碾压式土石坝设计导则》(SL 189) 的有关规定控制。

2 土料防渗体及其反滤层的设置可参照 SL 274 的有关规定。

3 土工膜的布置可参照《土工合成材料应用技术规范》(GB 50290) 的有关规定。

4 混凝土防渗墙、高压喷射灌浆等防渗型式，需先形成防渗体施工平台进行钻孔或成槽施工，填料粒径较大时影响造孔效率，而且对孔壁稳定和防渗体的质量也不利，因此，需控制防渗体部位的填筑材料粒径。同样，在确定截流戗堤位置时也要考虑上述因素，为防止截流戗堤抛投材料流失到防渗体部位，截流戗堤一般布置在防渗体下游侧。

5 堰体防渗体与堰基及岸坡应形成封闭防渗体系。混凝土防渗墙、高喷防渗墙、钢板桩与土料防渗体的连接，一般只要插入一定长度即可；混凝土防渗墙、高喷防渗墙、灌浆帷幕与土工膜的连接一般采用混凝土连接板的方式。土工膜与两岸基岩应通过混凝土基座连接，连接处应设伸缩节，混凝土基座应置于基岩上。

6.2.7 混凝土围堰堰体分缝布置应综合考虑堰基地形地质条件、堰体布置、堰体断面尺寸、温度应力和施工条件等因素确定。条件允许时，尽量采用通仓浇筑。由于碾压混凝土采用大面积摊铺碾压的施工方式，国内外已建的碾压混凝土重力坝大多数均不设纵缝，考虑到围堰运行期较短，碾压混凝土围堰不宜设纵缝，且少设横缝，以利于快速施工。混凝土拱围堰的堰体分缝尚需按《混凝土拱坝设计规范》(SL 282)的有关规定进行接缝灌浆。

混凝土围堰应根据堰基灌浆、排水孔设置、堰体高度及排水、堰体灌浆等条件确定堰体内是否设置廊道。如需设置廊道，其设置需符合《混凝土重力坝设计规范》(SL 319)和《混凝土拱坝设计规范》(SL 282)的有关规定。重力式围堰横缝的上游面、溢流面、下游面最高尾水位以下及堰内廊道和孔洞穿过分缝处的四周等部位需布置止水设施。横缝止水片必须与堰基岩石妥善连接。

6.2.8 围堰防冲保护设计中应针对工程具体情况，因地制宜地采取有效的防冲措施，选用适当的材料，力求安全可靠、经济合理。钢筋铅丝石笼、合金网石兜具有施工方便、整体性好，抗冲能力强等优点，在大块石缺乏时可选用。

6.2.9 土石围堰与混凝土建筑物的连接形式，有扩大防渗体断面和插入式。为了防止沿接触面发生渗透破坏，土质防渗体与混凝土建筑物的接触面应有足够的渗径。

6.2.10 土石围堰过水单宽流量小于 $40\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ，流速在 5m/s 以内，可以采用铅丝笼块石或粒径 $0.4 \sim 0.7\text{m}$ 的块石保

护；流速 5~7m/s，可以采用钢筋笼块石、加筋块石、合金网石兜、特大块石（重 3~5t）保护；流速 7~10m/s，可以采用浆砌块石、混凝土板保护。

工程实践证明，土石过水围堰仅用单宽流量衡量设计指标尚不够全面。例如：湖北省清江隔河岩工程下游土石过水围堰轴线长度 200m，堰顶过流量 $8000\text{m}^3/\text{s}$ 时，堰顶单宽流量 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，堰顶及下游坡水深 8.5~7.5m，最大流速 10.2m/s；堰顶过流量 $13700\text{m}^3/\text{s}$ ，单宽流量 $68.5\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 时，堰顶及下游坡水深 11~10m，最大流速 7.3m/s，说明围堰过流量超过 $8000\text{m}^3/\text{s}$ ，堰顶及下游坡水深增大，形成潜堰，流速反而减小。因此，采用单宽流量和流速衡量土石过水围堰设计指标较为全面。土石围堰过水单宽流量大于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速大于 10m/s，需仔细分析围堰过水水力条件，并通过水工模型试验研究采取防冲措施以确保安全运行。广西红水河大化水电站土石过水围堰高 17.5m，设计过流量 $8420\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $104\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 11.6m/s，采用 $3.3\text{m}\times 2\text{m}$ ，厚 0.7m 混凝土板保护，实际过流量 $5140\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $70.4\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。贵州普定水电站土石过水围堰高 15.5m，设计过流量 $3890\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $75\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，流速 12.5m/s，采用 $3\text{m}\times 3\text{m}$ ，厚 0.5m 混凝土板保护，实际过流量 $2600\text{m}^3/\text{s}$ ，最大单宽流量 $53\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。上述土石过水围堰虽然单宽流量大于 $40\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ 或流速大于 10m/s，但运行实践证明，采用的防冲保护措施效果良好。

国内部分土石过水围堰工程防护设计统计见表 7。

6.2.11 为了防止横向水流作用下土石过水围堰护面结构块体从侧面翻起而破坏，过水围堰与两岸基础应采取防冲措施，并可以采取工程措施使主流集中于主河床，保证两岸接头及堰后岸坡的稳定。

6.2.12 本条为防渗土料、堰壳料、反滤料和过渡料、水下堆石体等土石围堰填筑材料要求。由于围堰为临时工程，为充分利用当地材料及开挖料，围堰堆石体水下部分的软化系数适当降低，

表 7 国内部分土石过水围堰工程防护设计统计表

序号	围堰名称	最大堰高 (m)	围堰过水水力学指标			围堰防护设计		
			过水流量 (m ³ /s)	单宽流量 [m ³ /(s·m)]	最大流速 (m/s)	堰面防护	堰后基础	两岸防护
1	隔河岩下游土石过水围堰	16	设计: 13700 实际: 10700	设计: 68.5 实际: 50.4	设计: 12.4 实际: 11.5	10m×10m, 1.5m厚 混凝土板	—	—
2	大化上游土石过水围堰	17.5	设计: 8420 实际: 5140	设计: 104 实际: 70.4	设计: 11.6	3.3m×2m, 0.7m厚 混凝土板	—	—
3	普定上游土石过水围堰	15.5	设计: 3890 实际: 2600	设计: 75 实际: 53	设计: 12.5	3m×3m, 0.5m厚 混凝土板	—	围堰与岸坡相接的护面体上增设了布有插筋的混凝土
4	鲁地拉上游土石—碾压混凝土混合过水围堰	33.5	7000	53.8	15.2	4m厚碾压混凝土	混凝土齿墙防护	混凝土墙防护
5	鲁地拉下游土石过水围堰	19.5	7000	—	—	—	钢筋石笼防护	混凝土墙防护
6	功果桥上游土石过水围堰	52.5	4710	25.3	15.6	混凝土楔形面板	混凝土齿墙防护	混凝土护坡和喷锚支护

表 7 (续)

序号	围堰名称	最大堰高 (m)	围堰过水水力学指标			围堰防护设计		
			过水流量 (m ³ /s)	单宽流量 [m ³ /(s·m)]	最大流速 (m/s)	堰面防护	堰后基础	两岸防护
7	天生桥一级上游 土石过水 围堰	19.4	设计: 9800 实际: 3430	设计: 35.9 实际: 12.6	设计: 3.2 实际: 1.9	1.0m厚钢筋 混凝土板 (下游平台), 0.9m厚混凝 土楔形体 (斜坡段)	下游面边坡及 河床部位采用 钢筋铅丝石 笼保护	块石和 钢筋铅丝 石笼保护
8	天生桥一级下游 土石过水围堰	--	设计: 9800 实际: 3430	--	--	1.0m厚钢筋 混凝土板 (下游平台), 0.9m厚混凝 土楔形体 (斜坡段)	5排钢筋石笼 及大块石压重 保护	采用铅丝石笼 防护, 在堰脚 及岸坡交接处 浇2m宽混凝 土压脚
9	锦屏二级上游土 石过水围堰	24.5/21	7025	47.0	12.7	1.2m厚 混凝土面板	钢筋石笼 防护	喷锚支护 (基岩)
10	珊瑚上游土石 过水围堰	29	设计: 6505 实际: 1100	设计: 23.0 实际: 3.9	设计: 16.8 --	0.8m厚 混凝土面板	堰后挖 至基岩	喷锚支护 (基岩)
11	滩坑上游土石 过水围堰	23.5/18	设计: 7901 实际: 2100	设计: 33.0 实际: 9.1	设计: 14.6 --	1.0m厚混凝土 面板及0.8m厚 钢筋石笼保护	堰后挖至 基岩	喷锚支护 (基岩)

采用大于 0.7 的标准。

6.3 过水围堰水力计算

6.3.1 过水围堰溢流水力计算可以参照相关文献有关公式，在设计洪水标准范围内通过水力计算找出最不利工况，据此研究改善水力条件及防冲保护方案。

6.3.2 由于过水围堰水力条件复杂，难以准确分析计算，对 4 级及以上过水围堰宜通过水工模型试验验证。

6.4 渗流及渗透稳定计算

6.4.1 土石围堰渗流计算的目的是确定堰体浸润线位置及堰体内渗流场，以验算围堰边坡稳定；拟定堰基防渗铺盖及堰体斜墙或基础防渗墙和堰体心墙的厚度及长度，核算堰体及堰基的渗透稳定；确定堰体及堰基的渗流量，作为基坑排水设计的依据。

6.4.2 随着复杂地质条件上高水头、高土石围堰的大量出现，围堰设计时越来越重视采用有限元对不同工况下堰体、堰基及防渗体的渗透安全性进行研究。金沙江乌东德水电站上游围堰为 3 级建筑物，基础覆盖层最大深度 72.8m，最大堰高约 67m；采用厚 1.2m 塑性混凝土防渗墙上接复合土工膜防渗，防渗墙最大深度 94m。采用三维有限元法对上游围堰进行了渗流分析，并研究了防渗墙底部开叉和土工膜与防渗墙搭接破损、覆盖层渗透系数和防渗墙底帷幕灌浆范围对围堰渗透稳定性的影响。

6.4.3 围堰防渗体及堰基的允许渗透比降，可以结合工程的具体情况，通过类比或土工试验成果论证分析确定。

6.5 稳定计算

6.5.1 关于土石围堰堰坡及地基抗滑稳定计算方法及稳定安全系数选取：

(1) 刚体极限平衡法常用的方法为条分法，有不计条块间作用和计及条块间作用力两类。按滑动面形状分圆弧法和滑楔法两

种。最早的瑞典圆弧法是不计条块间作用力的方法，而简化毕肖普法（Simplified Bishop）、罗厄（Lowe-Karafiath）法、美国陆军工程师团（Corps of Engineers）法、萨玛（Sarma）法、斯宾塞（Spencer）法、摩根斯顿-普赖斯（Morgenstern - Price）法、滑动稳定通用法和简布（Janbu）法等均属于计及条块间作用力的方法。瑞典圆弧法计算简单，已积累了丰富的经验，可用手算，但理论上存在缺陷，且当孔隙压力较大和地基软弱时误差较大。简化毕肖普法及其他计及条块间作用力的方法，由于“计及条块间作用力”能反映土体滑动土条之间的客观状况，虽然计算比瑞典圆弧法复杂，但由于计算机的广泛应用，使得计及条块间作用力方法的计算容易实现，已积累了很多经验。

(2) 《碾压式土石坝设计规范》（SL 274—2001）规定，对于均质坝、厚斜墙坝和厚心墙坝，一般采用计及条块间作用力的简化毕肖普（Simplified Bishop）法；对于有软弱夹层、薄斜墙、薄心墙坝的坝坡稳定分析及任何坝型，可采用满足力和力矩平衡的摩根斯顿-普赖斯（Morgenstern - Price）等方法，因此大中型水利水电工程规模较大的土石围堰宜主要采用简化毕肖普法进行计算，考虑围堰为临时工程，为延续传统计算方法，瑞典圆弧法计算成果也可作为评价围堰稳定性的依据。

(3) 根据《水利水电工程施工组织设计规范》（SL 303—2004）和《碾压式土石坝设计规范》（SL 274—2001）的规定，确定相应的安全系数。大量的计算及实践表明，简化毕肖普法计算数值比瑞典圆弧法计算数值大 8% 左右。其他考虑计及条块间作用力的计算方法，其抗滑稳定安全系数控制标准同简化毕肖普法相同。

(4) 采用折线法进行稳定计算时，若假定滑楔之间作用力平行于坡面和滑底斜面的平均坡度，安全系数采用简化毕肖普法控制标准；若假定滑楔之间作用力为水平方向，安全系数采用瑞典圆弧法控制标准。

6.5.2 混凝土围堰抗滑稳定采用抗剪强度公式或抗剪断强度公

式，当存在两侧向同时挡水工况时（如混凝土纵向围堰与横向混凝土围堰衔接段），需复核两向同时挡水条件下围堰的稳定与应力。

6.5.3 对于其他型式围堰，如钢板桩格型围堰、竹笼围堰、框格填石围堰、草土围堰、杓槎围堰、浆砌石围堰等，其稳定分析与结构计算可参照相关文献并结合已建工程经验进行。

6.5.4 过水围堰应根据围堰型式确定其稳定计算公式，对不同运行水位和工况（挡水、充水、过流、退水）进行计算，围堰断面按最不利的运用条件设计。建在软基和深覆盖层上的过水围堰，需校核沿基础中最不利层面的抗滑稳定。

土石过水围堰型式按堰体溢流面防冲保护使用的材料可分为混凝土面板、混凝土楔形体、块石笼、块石加钢筋网等形式，不同防护形式下防护厚度、尺寸等结构稳定计算参照相关文献进行。

6.6 应力及变形计算

6.6.1 随着岩土工程、有限元理论及计算机技术的发展，我国在土石坝（堰）应力和变形的有限元计算方面做了大量工作，积累了较丰富资料和经验。由于有限元计算复杂、工作量大，因此条文中仅规定对3级围堰进行这项工作。

我国西南地区各主要河流大江大河（金沙江、雅砻江、大渡河等）的水电梯级开发过程中，所有的工程河床都存在河谷深切和深厚覆盖层现象，河床覆盖层厚度一般为数十米至百余米，局部地段可达数百米。随着水利水电开发的深入，会有较多的深厚覆盖层上的高水头、深基坑、高围堰的水利水电工程出现，如目前正在建的乌东德水电站，上游土石围堰堰体基础覆盖层深度一般52.4~65.5m，最大深度72.8m，最大堰高约67m；采用厚1.2m塑性混凝土防渗墙上接复合土工膜防渗，防渗墙最大深度为94m，围堰和基坑边坡的联合深度高达155m，相当于100m级的土石坝。围堰基础深厚覆盖层组成一般较复杂，围堰防渗墙

结构安全至关重要，因此一般进行有限元应力应变计算。应力应变计算采用非线性弹性应力应变关系分析，也可采用弹塑性应力应变关系分析。有限元计算参数一般由试验测定，并结合工程类比选用。

6.6.2 土石围堰建在压缩性较大地基上，且高度大于 20m，需进行堰体沉降计算。对按 3 级建筑物设计的围堰，尚需分析计算堰体沉降量及沉降过程。

6.6.3 混凝土重力式围堰应力计算通常按材料力学公式计算。对于按 3 级建筑物设计的围堰一般用平面问题的有限元法求解堰体和基础的应力及位移，计算公式参见有关混凝土坝的应力计算公式。按一般规定，基础最大正应力不应超过地基的允许承压应力，最小正应力一般应大于 0，即不允许出现拉应力。围堰系临时建筑物，经常处于低水位运行，出现最高水位的时间较短，因此，允许堰体和堰基局部出现一定的拉应力。

葛洲坝水电站二期纵向围堰系 3 级建筑物，围堰采用混凝土基座上安装钢板桩格型围堰，最大高度 38.5m，混凝土基座高 19m，堰基截面计算拉应力为 0.12MPa；清江隔河岩水电站上游碾压混凝土过水围堰，最大高度 42m，堰基截面设计计算拉应力达 0.15MPa，围堰运行 4 年，未发现异常情况。

6.6.4 混凝土拱围堰应力计算通常采用拱冠梁法，对按 3 级建筑物设计的围堰一般用有限元法进行拱围堰应力分析计算。

7 堰基处理设计

7.1 一般规定

7.1.1 堰基处理主要满足强度和防渗要求。土石围堰堰基覆盖层要满足地基承载力、和沉降变形要求。混凝土围堰的堰基一般需开挖至基岩一定深度，基岩的水文地质条件和工程地质条件要满足围堰抗滑稳定和防渗要求。

7.1.2 对于覆盖层较深的堰基，垂直防渗体一般嵌入相对不透水层，若满足渗流量和渗透稳定要求，也可考虑采用悬挂式的防渗体。水平防渗铺盖施工简便，为有效地解决堰基及堰体的渗透稳定问题，需结合布置下游排水设施。当堰基覆盖层渗透系数较大时，用黏土铺盖防渗可靠性较差。因此，对围堰基础覆盖层的防渗处理方案应视覆盖层的深度、物质组成、渗透特性、围堰型式、施工及拆除条件等综合分析选定。

7.1.3 围堰设计工况运行时间较短，堰基处理设计时，可参照土石坝、重力坝等永久建筑物坝基处理要求适当降低。但如果围堰与大坝相结合，则堰基处理必须满足大坝的设计要求。

7.2 防渗设计

7.2.1 目前处理 10m 深以上的河床覆盖层，最常用的方法是混凝土（塑性混凝土）防渗墙和高压喷射灌浆。混凝土防渗墙（塑性混凝土）适应地层广泛，可优先选用。高压喷射灌浆适用于粉土、砂土、砾石、卵（碎）石等松散透水地层。近年来由于技术的进步和工程建设的需要，在可灌性较好的围堰砂砾石地层中，帷幕灌浆应用越来越多。对于卵石和漂石含量多的地层，不宜采用钢板桩防渗。

围堰堰基防渗可采用组合防渗方案。

小湾水电站上游围堰堰基防渗处理最大深度约 45m，地质条

件复杂。坝址地层中含有大量孤石，使上游围堰混凝土防渗墙造孔非常困难，造孔工效较低；围堰填筑层存在架空现象，使防渗墙造孔发生大量的漏浆和塌孔；覆盖层中含有极细颗粒的夹砂层，水泥灌浆存在吃水不吃浆的情况。在上述不利地质条件下堰基处理采用混凝土防渗墙工期难以实现，因此实际施工时采用了混凝土防渗墙和可控帷幕灌浆相结合的防渗形式，可控帷幕灌浆段的粉砂层引入了化学灌浆。

向家坝水电站一期围堰基础防渗工程因塑性混凝土防渗墙施工强度高，工期难以保证，部分堰段采用高压旋喷方法施工防渗墙，取得了较好的效果。

三峡水利工程一期纵向土石围堰和二期上下游横向土石围堰均采用了防渗墙下接帷幕灌浆的组合防渗方案。防渗墙用于回填料、河床覆盖层以及强风化上层以上的基岩防渗；对于岩石坚硬但渗透性大的强风化中层以下岩石，则采用自墙中预埋管中钻孔进行帷幕灌浆的方法进行防渗处理，既达到了防渗的目的，又满足了工期要求。

7.2.2 混凝土防渗墙的成槽施工机械种类很多，有冲击钻、抓斗、锯槽机、双轮铣等，使混凝土防渗墙能适用于不同的岩基和各种土层，工程经验较丰富，是一种较可靠的防渗型式。即使对于淤泥和粉细砂等地层，通过采用排水预压、振冲等措施进行加固处理后，采用适当的泥浆固壁参数，也可保证防渗墙槽孔的稳定。目前国内混凝土防渗墙施工技术可以深达 100m，如四川冶勒水电站混凝土防渗墙试验墙深达 100m，厚 1.0m。小浪底主坝混凝土防渗墙，最大深度 81.9m，厚 1.2m。三峡水利工程二期上游围堰混凝土防渗墙最大深度 73.5m，厚 1.0m。

混凝土防渗墙的厚度主要取决于挡水水头和施工条件两个方面。在设计水头时，混凝土防渗墙的渗透比降小于混凝土防渗墙的允许渗透比降。根据工程实践经验，混凝土防渗墙允许渗透比降一般以 80~100 作为控制上限值。国内已建成的混凝土防渗墙厚度多在 0.6~1.0m 之间，最大厚度达 1.4m（四川宝珠寺电站

防渗墙)。一般高度围堰混凝土防渗墙水头不大,厚度主要根据施工条件,参照同类工程实际经验选用,目前国内围堰基础混凝土防渗墙厚度采用0.8m的较多。对于深基坑、高围堰的混凝土防渗墙,其厚度根据水头和施工条件,并参照同类工程确定。

7.2.3 根据施工方法的不同,水泥搅拌防渗墙施工分为湿法和干法两种。当地基土的天然含水量小于30% (黄土含水量小于25%)、大于70%或地下水的 $\text{pH}<4$ 时不宜采用干法。冬季施工时,要注意低温对处理效果的影响。湿法的处理深度一般不大于20m,干法的处理深度一般不大于15m。

7.2.4 本条为高压喷射灌浆的适用条件和技术要求,根据《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》(DL/T 5200—2004)提出。

高压喷射灌浆具有施工方便、施工速度快、造价低等优势,目前已在堰基防渗中大量应用。根据一些工程实践经验与试验资料,堰基砂砾石层采用高压喷射灌浆宜控制深度小于40m,且卵石最大粒径小于40cm。例如,广东省珠江飞来峡水利工程在厚度25m的砂砾石覆盖层和河南省黄河小浪底工程在厚度25m的夹黏性土砾卵石覆盖层中进行高压喷射灌浆试验,通过围井开挖检查,压水及注水试验,结果表明,防渗效果符合设计要求。二滩水电站上游土石围堰最大堰高约56m,河床覆盖层最大厚度34m,自上而下分为4层:第1层为砂卵石,粒径3~5cm;第2层为粉质黏土层;第3层为砂卵石夹砂,粒径8~12cm,顶底部有直径0.5~1.0m的块石;第4层为块碎石夹砂卵石,粒径5~13cm,局部有架空现象。堰基防渗采用高压旋喷灌浆防渗墙,最大深度44m,运行中未见明显渗水。

高压喷射灌浆有旋喷、定喷和摆喷等3种基本形式。目前常用的结构布置型式有4种:定喷折接、摆喷对接或折接、旋喷摆喷或旋喷定喷搭接、旋喷套接。选择时注意如下几点:

(1) 定喷和小角度摆喷适用于粉土和砂土地层;大角度摆喷和旋喷适用于淤泥质土、粉质黏土、粉土、砂土、砾石、卵(碎)石等松散透水地层或填筑体内。

(2) 承受水头较小的或水头虽较大但历时短暂的地层，可以采用摆喷折接或对接、定喷折接型式。

(3) 在卵（碎）砾石地层，深度小于 20m 时，可以采用摆喷对接或折接型式，对接摆角一般不小于 60° ，折接摆角一般不小于 30° ；深度大于 20~30m 时，可以采用单排或双排旋喷套接、旋摆搭接型式；当深度大于 30m 时，一般采用双排或三排旋喷套接型式或其他形式。

7.2.5 堰基砂砾石层采用帷幕灌浆防渗处理时，可灌性宜按可灌比 (M) 判断， $M > 15$ 可灌注水泥浆； $M > 10$ 可灌注水泥黏土浆。也可根据渗透系数 (K) 选用不同的灌浆材料， $K > 800\text{m/d}$ 水泥浆液中加入细砂； $K > 150\text{m/d}$ 可灌纯水泥浆； $K = 100 \sim 200\text{m/d}$ 可灌加塑化剂的水泥浆； $K = 80 \sim 100\text{m/d}$ 可灌加活性掺加料的水泥浆； $K \leq 80\text{m/d}$ 可灌黏土水泥浆。帷幕厚度 (T) 可按公式 $T = H/J$ 计算，其中 H 为最大设计水头， J 为帷幕的允许渗透比降，对于一般水泥黏土浆，可采用 3~4。浙江省富春江水电站三期下游土石围堰高度 12m，堰基砂砾石覆盖层厚 7~15m，采用水泥灌浆（二排孔）处理；黄河龙羊峡水电站上游土石围堰高度 53m，堰基砂卵石覆盖层厚 13m，采用水泥灌浆（三排孔）处理；葛洲坝水电站一期土石围堰下游横向段高度 21m，堰基砂砾石覆盖层厚 8~16m，采用水泥黏土灌浆（三排孔）处理。

砂砾石地基采用帷幕灌浆防渗技术曾一度由于混凝土防渗墙技术的快速发展，应用逐渐减少，但近年来由于技术的进步和工程建设的需要，在江河堤防、病险水库的防渗加固和围堰防渗中应用逐步增多。目前灌浆技术发展了控制性帷幕灌浆、膏状浆液灌浆（塑性灌浆）等技术。控制性帷幕灌浆技术是利用水泥浆液和化学浆液分别从孔内灌入加固处理的地基中，使两浆液产生速凝化学作用，从而达到防渗目的，是浅层水泥灌浆加固技术、精确控制水泥浆液凝固技术和水泥灌浆防水堵漏技术等三项新技术的组合，具有施工速度快、造价较低等优点。例如：贵州乌江洪

家渡水电站围堰防渗处理采用了控制性帷幕灌浆技术，上下游一期围堰防渗面积 1916m²，仅用 18d 时间即全部完成，基本无大的漏水，运行情况良好。膏状浆液是由高速搅拌机搅拌水泥、膨润土和水而形成的一种浆液，具有一定的塑性屈服强度，能抵抗一定的地下水流速，在浆液扩散到一定范围内即停止，对大孔隙的地层具有良好的适应性和可控制性。膏状浆液灌浆曾在小湾水电站上游围堰堰基防渗中使用，灌浆孔 3 排，最大灌浆深度 50m，深入基岩 5m。

7.2.6 截水槽一般适用于堰基砂砾石覆盖层厚度 10m 以内的土石围堰堰基处理。其施工方法为先抽槽开挖至基岩或相对不透水层，然后回填防渗土料或其他防渗材料。截水槽的底宽根据挡水水头、回填土料与基岩接触面的允许渗透比降确定。对于黏土截水墙，截水槽底宽一般为 3~5m，边坡 1:1~1:1.5；土料和基岩接触面的允许渗透比降，一般砂壤土取 3，壤土取 3~5，黏土取 5~10，未经碾压压实及接触面清理不彻底时允许渗透比降减半取用。例如：葛洲坝水电站二江上游土石围堰高度 14m，堰基砂卵石覆盖层厚 7~19m，渗透系数 200~300m/d，采用 4m³ 索铲开挖截水槽至基岩，回填黏土。开挖边坡 1:1，底宽 6m，围堰运行防渗效果良好。

7.2.7 深厚覆盖层上的低水头围堰由于其水头较低，渗透压力不大，经稳定分析和经济比较后，可采用铺盖或悬挂式防渗形式，以节省围堰工程量及投资。如新疆察汗乌苏水电站坝址处河床覆盖层最大厚度 47.0m，混凝土面板堆石坝趾板建在覆盖层上，原覆盖层开挖较少；上游土石围堰最大堰高 31.88m，堰基防渗采用悬挂式高喷防渗墙，墙体最大深度 15m，厚度 0.6m。瀑布沟水电站覆盖层坝基总厚一般 40~60m，最深达 75.36m；砾石土心墙堆石坝建在河床覆盖层上，上游土工膜斜墙土石围堰与大坝相结合布置，堰基采用悬挂式混凝土防渗墙防渗，墙体最大深度 44m，厚度 0.8m。

7.2.8 采用铺盖防渗时，堰基覆盖层渗透系数不宜太大，且无

大的集中渗漏带和通道。渗透系数太大的堰基渗流不符合达西定律，而类似于管道的压力流，不适合采用铺盖防渗。

防渗铺盖的长度、厚度、压实标准和防护措施根据设计挡水水头、堰基覆盖层的地质条件、防渗土料的特性、水力学条件、施工条件等综合分析确定。防渗铺盖的结构设计可参照《碾压式土石坝设计规范》(SL 274)，铺盖水下抛投最小厚度一般不小于2m，干地碾压最小厚度可取0.5~1.0m。铺盖常与下游排水设施联合作用，以有效地控制堰基渗流。例如：湖北省丹江口水利枢纽二期上游土石围堰最大高度44m，堰基砂卵石覆盖层厚度14m，表层为中细砂，渗透系数25~55m/d；下层为砂卵石，渗透系数达103~294m/d。采用黏土心墙内铺盖（在堰体底部）防渗，铺盖在低土石围堰保护下干地施工，铺盖长度为4倍水头，靠心墙处厚度4m，首端2m，围堰运行防渗效果良好。

铺盖防渗不适宜用于土石纵向围堰和土石过水围堰。对上游土石过水围堰，若围堰顶过水时上游坡脚处的流速小于1m/s，且采取措施能有效地防止铺盖遭冲刷破坏，也可以采用铺盖防渗。

7.3 其他处理

7.3.1 峡谷地区自然边坡陡峻，堰体容易发生不均匀沉陷，在堰体与岸坡连接处产生横向裂缝。因此与土质防渗体连接的岸坡需进行开挖整理，大致平顺。堰基防渗体部位如存在大孤石，将不利于防渗体施工，填筑前尽可能将防渗体部位的大孤石爆破清除。

7.3.2 堰基如果是砂基、软土地基，为防止液化并提高地基承载力，常采用振冲和强夯的方法进行加固处理。天生桥一级下游围堰堰基冲积层厚17.22~25.6m，近基岩面夹有厚10.77~13.32m黏土层，难以满足围堰稳定要求，为此下游围堰基坑侧采用了振冲碎石桩加固处理。三峡水利工程二期围堰水下抛填风化砂中采用振冲加密处理，处理深度达30m，振后平均密度由

1.40g/cm³ 提高到 1.93g/cm³。

强夯法加固可消除粉细砂液化并提高密度。珠海及深圳国际机场用强夯法处理地基，相对密度由不足 0.6 提高至 0.8 以上。

围堰软基处理的方法，也可以多种方法结合使用。除振冲和强夯法外，还可以采用置换、排水固结和反滤围压等措施进行加固。

7.3.3 混凝土围堰堰高 100~50m 时，可建在微风化至弱风化中部基岩上；堰高小于 50m 时，可建在弱风化中部—上部基岩上；两岸地形较高部位的堰段，可适当放宽。对于堰基中存在的断层破碎带、软弱结构面及局部工程地质缺陷，要通过分析其对堰体整体稳定和渗流的影响，确定堰基处理设计方案。可采用挖除置换混凝土、预应力锚索、抗滑桩、固结灌浆及帷幕灌浆等处理措施。

龙滩水电站上、下游碾压混凝土围堰，最大堰高分别为 73.2m 和 48.5m，堰基主要为板纳组砂岩和粉砂岩夹泥板岩，岩层倾向下游偏左岸，倾角较陡。建基面除两岸堰肩局部位于强风化下部岩体外，堰基绝大部分位于弱风化中下部岩体上。上游围堰对堰基节理密集带采取了固结灌浆处理，并设置了一道纵向基础帷幕灌浆和排水廊道，下游围堰堰基未做处理。

大朝山水电站上游碾压混凝土拱围堰，最大堰高 53m，两岸为重力墩，堰基为玄武岩，左岸有一深槽，覆盖层厚 17m，局部未开挖至基岩，采用灌浆加固处理，再用混凝土封闭，建基面设置 4m 厚、底宽 21m 的混凝土垫座以防止产生不均匀沉降。

8 围堰安全监测

8.0.2 围堰安全监测设计应能较全面反映围堰的工作状况，应目的明确、重点突出。

8.0.3

1 围堰变形（垂直位移和水平位移）监测，在堰体顶部及坡面设置固定标点，监测其竖直方向及垂直围堰轴线的水平方向的位移变化。垂直位移监测可与水平位移监测配合进行。监测断面要选择在最大堰高、合龙地段、堰基地形地质条件变化较大处及堰体施工质量存在问题的地段。

2 渗流量监测，通常将堰体背水坡脚排水沟的渗水集中引入基坑内的集水坑，可在各排水沟分段设置量水堰进行监测，也可用基坑排水站的排水量推算围堰渗流量。

8.0.4 对属于3级及重要的4级围堰和采用新型式、新结构、新材料、新工艺的围堰，可设置内部水平位移、应力应变和渗流等安全监测项目。重要的4级围堰指挡水水头较高，失事后果比较严重的围堰。

1 对于土石围堰，选择2~4个监测断面，布设沉降仪、位移计、土压力计、孔隙水压力计等以监测堰体内部变形、应力和渗透水压力等。

三峡水利工程二期上、下游围堰轴线长分别为1439.6m和1075.9m，与纵向围堰共同形成基坑，是三峡二期工程施工期重要的安全屏障。上游围堰为2级临时建筑物，堰顶高程88.50m，设计洪水标准为1%频率全年最大流量83700m³/s，相应水位85.00m，相应库容近20亿m³。三峡水利工程二期上、下游围堰安全监测项目包括：堰体变形、防渗墙变形及应力应变、渗流量等。

2 对于混凝土围堰，选择2~3个典型断面作为重点监测部

位，布设应变计（组）、测压管、测缝计、测斜仪等监测堰体及堰基内部应力应变、基础扬压力及位移变形，碾压混凝土围堰可根据情况监测层面的渗透水压力等。

三峡水利工程三期碾压混凝土围堰为 1 级临时挡水建筑物，围堰顶高程 140.00m，顶宽 8m，最大底宽 107m，最大堰高 115m。设计拦蓄库容 147 亿 m^3 ，其重要性不同于一般临时建筑物。三峡水利工程三期碾压混凝土围堰安全监测项目包括：基础垂直位移、堰顶变形、堰基渗透压力、堰基渗流量、堰体渗流量、混凝土应力、混凝土温度以及围堰裂缝等。

9 围堰拆除设计

9.0.1 围堰完成使命后，围堰拆除范围以不影响电站进水口、尾水渠泄水建筑物、通航建筑物等正常运行为原则。上游围堰在不影响永久建筑物运行的情况下可不拆除。为避免抬高尾水位，影响发电效益，厂房尾水围堰需全部拆除。

分期导流前期围堰拆除范围还要满足后期导、截流要求，确保顺利截流和安全导流。导流隧洞进、出口围堰拆除不得影响导流隧洞的过流能力。

围堰拆除一般安排在枯水期进行，在没有其他条件制约时，围堰拆除尽量安排在最枯时段，以达到减少水下拆除工程量和降低拆除难度的目的。

三峡水利工程右岸电站引水管道进水口底高程 108.00m，三期上游低土石围堰顶高程为 72.00m，不影响电站运行，故该围堰未拆除；为满足电站运行要求，三期碾压混凝土围堰和混凝土纵向围堰堰内段大部分拆除至高程 110.00m，局部拆除至高程 125.00m。

三峡水利工程三期下游土石围堰，根据右岸电站 12 台机组及地下电站 6 台机组运行时过流断面要求，全部予以拆除。为确保施工进度，尽量创造干地拆除条件，减少水下拆除工程量，采用预留经济断面挡水，使围堰顶部及背水侧在干地开挖，然后再水下拆除经济挡水断面部分。拆除至设计洪水标准为 50 年一遇流量 $79000\text{m}^3/\text{s}$ 。围堰拆除临时断面挡水标准按挡水时段 10 年一遇最大日平均流量确定。三期下游土石围堰从 2006 年 12 月开始拆除，2007 年 3 月破堰进水，确定三期下游土石围堰预留经济断面设计洪水标准为 11~4 月时段 10% 频率最大日平均流量为 $20900\text{m}^3/\text{s}$ ，相应下游水位 67.43m，经济断面顶部高程 69.00m。背水侧边坡为 1:2，坡顶距离防渗轴线不小于 2m。